

Kalibrasi Sensor Ultrasonik HC-SR04 Pada Prototipe *Water Tank Level Control System*

Ahmad Syahlan*¹, Indri Purwita Sary², Muhammad Aiman Fathin³, Rizky Fiqliyarli Rezyan⁴
^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang; Jl. HS.
Ronggo Waluyo, Puseur Jaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361, Tel : (0267)641177
e-mail: ²indri@ft.unsika.ac.id

Abstrak

Sistem pengisian tangki air secara manual dinilai tidak efektif karena tidak adanya otomatisasi dalam pemantauan ketinggian air. Penggunaan sensor HC-SR04 pada beberapa proyek keran air otomatis telah banyak dilakukan. Proses pengukuran linear menggunakan sensor HC-SR04 memerlukan kalibrasi untuk meningkatkan ketelitian dan ketepatan pengukuran. Penelitian ini bertujuan untuk mengkalibrasi sensor HC-SR04 dengan menggunakan metode regresi linear. Hasil yang didapat yaitu peningkatan yang signifikan dari hasil persentase ketelitian dan ketepatan sensor pada variasi pengukuran jarak 5 cm, 15 cm, 20 cm, dan 30 cm yang mencapai nilai 100%.

Kata kunci— *Pemantauan Ketinggian Air, Sensor HC-SR04, Ketelitian, Ketepatan, Metode Regresi Linear*

Abstract

The manual water tank filling system is considered ineffective due to the lack of automation in monitoring water levels. The use of HC-SR04 sensors in several automatic water faucet projects has been widely conducted. The linear measurement process using the HC-SR04 sensor requires calibration to improve measurement precision and accuracy. This research aims to calibrate the HC-SR04 sensor using the linear regression method. The results obtained show significant improvements in the percentage accuracy and precision of the sensor at distance measurements of 5 cm, 15 cm, 20 cm, and 30 cm, reaching a value of 100%.

Keywords— *Monitoring Water Level, HC-SR04 Sensor, Precision, Accuracy, Linear Regression Method*

1. PENDAHULUAN

Tangki air adalah tempat penampungan sementara bagi air yang akan digunakan sesuai kebutuhan. Umumnya, sistem pengisian air secara manual digunakan untuk mengisi tangki air. Oleh karena itu, proses pengisian tangki harus dimonitor secara manual agar air tidak meluap dari tangki tersebut. Proses ini dianggap kurang efisien karena kesempatan untuk terjadi kelebihan air dapat tanpa pengawasan yang memadai. Oleh karena itu, sistem otomatisasi seperti penggunaan keran otomatis atau kontrol level air tangki sangat diperlukan. Dengan adanya sistem ini, pengisian tangki air akan menjadi lebih efisien dan dapat mengurangi risiko kelebihan air yang tidak terdeteksi secara cepat.

Pada penelitian sebelumnya yang berjudul Alat Pendeteksi Ketinggian Air dan Keran Otomatis Menggunakan Water Level Sensor Berbasis Arduino oleh Ummul Khair. S[1]. Pada penelitiannya digunakan *water level sensor* sebagai sensor untuk mendeteksi level ketinggian

air dengan membaca nilai tegangan yang dihasilkan, dan modul *SMS Gateway* sebagai perangkat yang terhubung ke *smartphone* melalui *link IP* untuk memberikan pesan peringatan melalui sms. Relay dan solenoid valve digunakan sebagai aktuator untuk sistem keran otomatis. Hasil yang didapatkan yaitu alat berhasil mengisi bak air kosong dengan *command user* melalui sms dan dapat mengukur ketinggian air dengan variasi ketinggian air melalui empat level sensor.

Pada penelitian sebelumnya oleh M. Iman W dan Rifki AZ dengan judul Keran Air Wudhu Otomatis Menggunakan Sensor Infrared Sebagai Upaya Meminimalisasi Pemborosan Air[2]. Pada penelitian tersebut didapat hasil pengujian rata-rata penghematan air menggunakan sistem yang dirancang yaitu sebesar 40,04% dari total 5 kali pengujian, akan tetapi waktu yang dibutuhkan saat berwudhu menggunakan sistem otomatis lebih lama dikarenakan adanya *delay* sepersekian detik untuk proses ON/OFF katup solenoid.

Pada penelitian sebelumnya oleh Nurhikmah F, dkk. Yang berjudul Rancang Bangun Keran Wudu Otomatis[3]. Pada penelitian tersebut menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai sensor pembaca jarak dan aktuator relay serta solenoid valve untuk sistem keran air. Hasil yang didapat yaitu penggunaan jarak 5-40 cm untuk sistem yang dirancang dapat terdeteksi oleh sensor HC-SR04, rentang sudut deteksi sensor berdasarkan pengujian yang terjauh adalah 10° pada jarak objek 5 cm. Perbedaan penelitian ini dengan yang telah dilakukan yaitu, penelitian ini berfokus pada kalibrasi sensor HC-SR04 serta tujuan yang berbeda.

Pada penelitian ini menggunakan sensor HC-SR04 sebagai sensor jarak dan Solenoid Valve jenis NO (*Normally Open*) serta Relay 5V sebagai aktuator untuk sistem pengisian tangki air. Sensor HC-SR04 adalah perangkat pendeteksi jarak menggunakan gelombang ultrasonik yang bekerja dengan cara mengirimkan sinyal ultrasonik berfrekuensi 40 kHz dari sensor ke objek yang akan diukur, kemudian menerima pantulan gelombang tersebut. Dengan memanfaatkan waktu tempuh sinyal ultrasonik yang dikirimkan dan diterima, sensor tersebut dapat menghitung jarak antara sensor dan objek yang diukur[4]. Solenoid valve *Normally Open* (NO), pada tipe ini *coil* solenoid ditempatkan di sekitar armature dengan pegas yang mendorong plunger ke posisi terbuka. Ini membuat valve tetap terbuka kecuali saat coil solenoid diaktifkan. Ketika arus dialirkan, medan elektromagnetik mendorong plunger untuk menutup valve. Setelah arus dimatikan, pegas akan mengembalikan plunger ke posisi terbuka, sehingga menghidupkan kembali aliran fluida dalam sistem[5].

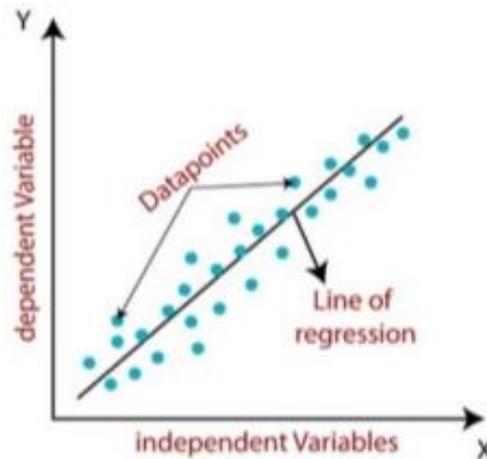
Penelitian ini akan berfokus pada kalibrasi sensor HC-SR04 dan efektivitasnya terhadap hasil pembacaan jarak yang dideteksi, serta melihat perbandingan antara sebelum dan sesudah proses kalibrasi.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Metode Kalibrasi Sensor HC-SR04

Kalibrasi hasil pembacaan jarak yang dihasilkan oleh sensor HC-SR04 dengan membandingkannya terhadap alat ukur yang sudah terstandarisasi, dalam hal ini menggunakan Penggaris 30 cm. Selanjutnya melakukan pengolahan data menggunakan metode regresi linear sederhana.

Regresi linear sederhana merupakan sebuah metode statistik yang bertujuan untuk mengenali korelasi antara dua variabel atau lebih, atau menilai dampak variabel penyebab (X) terhadap variabel yang dipengaruhi (Y)[6].



Gambar 1 Grafik Regresi Linear Sederhana

Pada umumnya, variabel faktor penyebab disimbolkan sebagai X atau dikenal sebagai *predictor*, sedangkan variabel yang terpengaruh disimbolkan sebagai Y atau dikenal sebagai *response*, seperti yang terlihat dalam gambar 1[7]. Jika terdapat korelasi antara variabel X dan Y, nilai yang diketahui dari variabel X dapat digunakan untuk mengestimasi atau meramalkan nilai variabel Y sesuai dengan persamaan (1)[8]. Model regresi linear sederhana diilustrasikan melalui persamaan (1), dengan konstanta dan variabel yang terlihat dalam persamaan (2) dan 3.

$$Y = a + bX \quad (1)$$

$$a = \frac{(\Sigma y)(\Sigma x^2) - (\Sigma x)(\Sigma xy)}{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} \quad (2)$$

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

Dimana y melambangkan variabel respons atau variabel yang dipengaruhi (*dependent*), sementara x adalah variabel prediktor atau variabel yang mempengaruhi (*independent*). Konstanta a dan koefisien regresi b (*slope*)[9].

Menurut Sulistiadi (2009), beberapa parameter yang digunakan untuk mengukur kemampuan alat ukur salah satunya yaitu ketelitian dan ketepatan[10]. Ketelitian merupakan tingkat kesamaan nilai pada sejumlah pengukuran yang dilakukan secara berulang menggunakan alat ukur yang sama, sedangkan ketepatan adalah tingkat kedekatan hasil pengukuran terhadap nilai sebenarnya (H). Secara matematis, ketelitian memenuhi persamaan (4) dan ketepatan memenuhi persamaan (5).

$$\text{Ketelitian} = \left[1 - \frac{\Delta x}{\bar{x}} \right] \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{Ketepatan} = \left(1 - \left| \frac{H - \bar{x}}{H} \right| \right) \times 100\% \quad (5)$$

dimana:

Δx = Standar Deviasi

\bar{x} = Rata-rata

2. 2 Metode Pengumpulan Data

Metode observasi digunakan dalam proses pengumpulan data, metode ini dilakukan terhadap alat yang telah dirancang, untuk selanjutnya dilakukan analisis mengenai pengujian

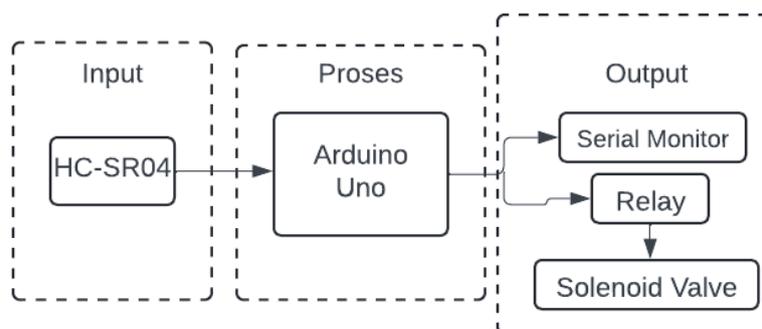
sistem kerja dan tujuan penelitian kalibrasi sensor HC-SR04. Data yang ditinjau antara lain data hasil variasi pengujian sensor HC-SR04 untuk selanjutnya diolah menggunakan software Microsoft Excel sehingga didapatkan fungsi regresi linearnya. Variasi jarak yang digunakan yaitu kelipatan lima dari 5 cm – 30 cm sesuai dengan prototipe alat yang dirancang. Selanjutnya pengujian dilakukan terhadap fungsi kerja aktuator relay dan solenoid valve sesuai dengan logika pemrograman yang diatur dalam mikrokontroler Arduino Uno.

2. 3 Perancangan Sistem

Pada bagian ini memberikan penjelasan terkait desain sistem dan prinsip kerjanya secara umum, baik dari *hardware* maupun *software* yang digunakan.

1. Blok Diagram Sistem

Pembuatan diagram blok bertujuan untuk mengilustrasikan cara kerja suatu perangkat. Dengan menggunakan diagram blok, penjelasan mengenai skema sebuah sistem menjadi lebih mudah dimengerti[11]. Berikut diagram blok dari pembuatan alat pada penelitian ini.

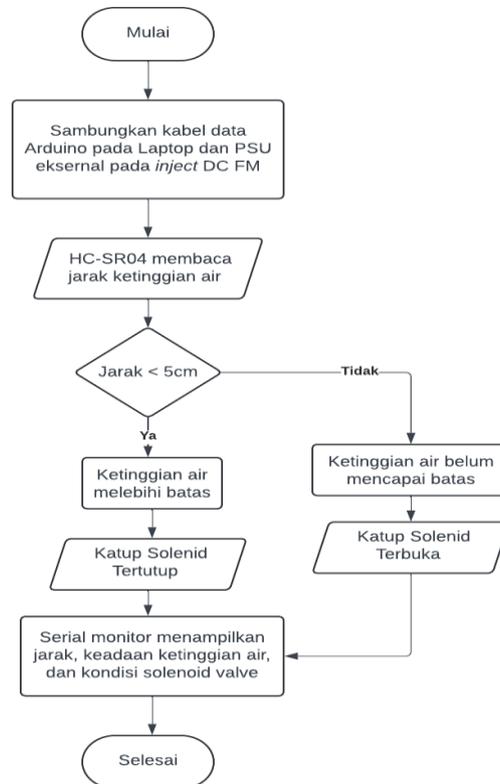


Gambar 2. Diagram Blok *Water Tank Level System*

Berdasarkan blok diagram pada gambar 2 dapat dijelaskan bahwa terdapat satu buah *input* berupa sensor HC-SR04 yang berfungsi mengukur ketinggian air dengan memanfaatkan prinsip perhitungan lama waktu kembalinya pantulan gelombang ultrasonik. Terdapat satu buah unit proses yaitu mikrokontroler Arduino Uno yang akan memproses hasil deteksi jarak oleh sensor HC-SR04. Kemudian, *output* yang didapat berupa pemberian sinyal HIGH(1) atau LOW(0) untuk Relay yang selanjutnya akan meneruskan sinyal listrik ke solenoid valve, hasil lain pun tampak pada *software* Arduino IDE berupa informasi ketinggian air dan kondisi katup solenoid terbuka atau tertutup.

2. Perancangan Alir Kerja Sistem

Alir kerja sistem direpresentasikan dengan diagram alir (*Flowchart*) adalah sebuah representasi visual yang menunjukkan rangkaian langkah dan petunjuk dalam suatu sistem, umumnya disajikan melalui simbol-simbol grafis[12].

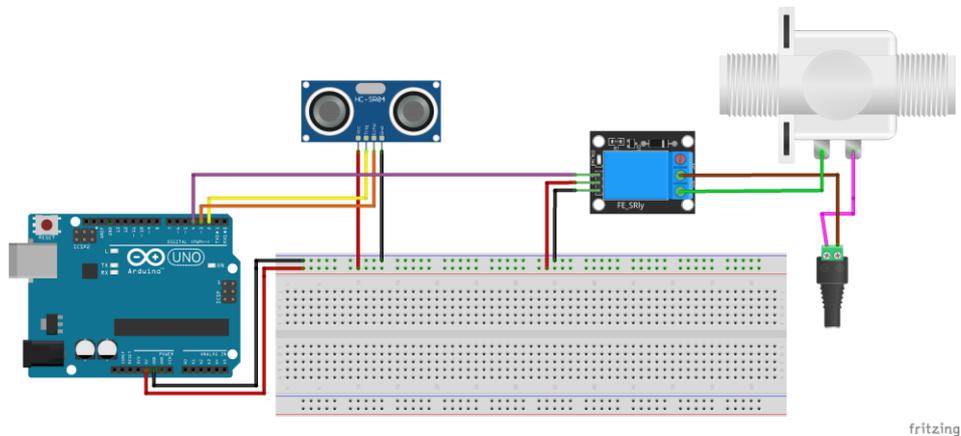


Gambar 3 *Flowchart* Kerja Sistem

Pada diagram alir kerja sistem, proses pertama yaitu menyambungkan kabel data Arduino dan PSU eksternal sebagai supply daya untuk solenoid valve, lalu sensor HC-SR04 akan membaca jarak pantulan air sebagai indikasi kondisi ketinggian air. Selanjutnya, pada Arduino akan dilakukan pemrosesan data hasil baca sensor, jika jarak yang terukur $< 5\text{cm}$ maka ini mengindikasikan jarak air yang semakin tinggi sehingga Relay akan mendapat sinyal LOW (0) dan meneruskan ke solenoid valve tipe *Normally Open* maka katup akan tertutup, jika jarak $> 5\text{cm}$ maka ini mengindikasikan bahwa jarak air belum mencapai batas sehingga Relay akan mendapat sinyal HIGH (1) sehingga katup solenoid akan tetap terbuka. Selanjutnya hasil deteksi jarak dan keadaan solenoid valve dapat dilihat melalui *serial monitor* Arduino IDE.

3. Perancangan Komponen *Hardware*

Perancangan komponen *Hardware* bertujuan untuk melakukan perancangan awal untuk menentukan pin pada Arduino yang akan digunakan serta wiring aktuator dalam sistem. Perancangan dilakukan menggunakan software Fritzing. Komponen sistem secara keseluruhan terdiri dari sensor HC-SR04, Arduino Uno, *Breadboard*, Relay, Solenoid Valve tipe *Normally Open*, *Barrel Jack DC Female with Terminal Block*. Pin 2 terhubung pada Pin trig, Pin 3 terhubung pada Pin echo sensor HC-SR04, lalu untuk pin IN relay terhubung pada Pin 4, kemudian untuk VCC dan GND sensor HC-SR04 dan relay diparalelkan ke *Breadboard* menuju pin VCC dan GND Arduino Uno.



Gambar 4 Rangkaian *Hardware* Sistem

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3. 1 Kalibrasi Sensor HC-SR04

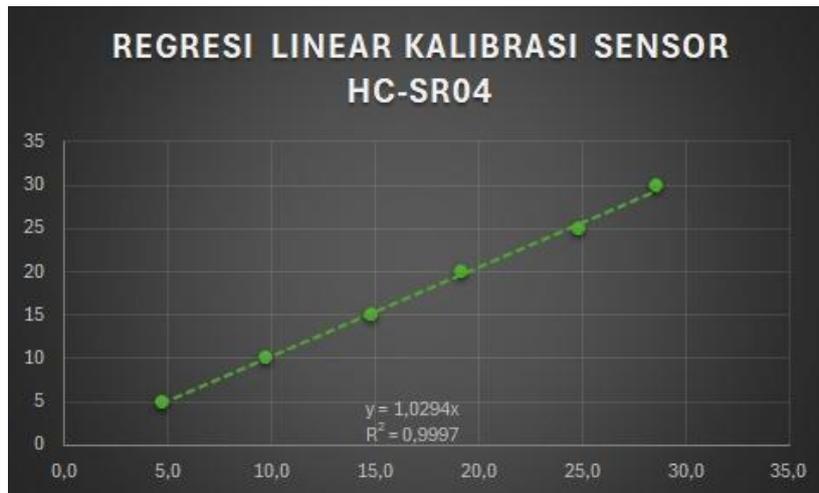
Pada tahap ini dilakukan kalibrasi menggunakan metode regresi linear, maka terlebih dahulu mengetahui model persamaan yang didapat untuk selanjutnya ditambahkan pada program Arduino IDE. Vasiasi nilai pembacaan jarak sensor yaitu kelipatan lima dimulai dari jarak 5 cm sampai 30 cm sesuai dengan rancangan prototipe alat, banyak sampel yang diambil sebanyak 30 sampel pada setiap variasi jarak, dalam periode waktu 1 menit (60 detik) dimana setiap 2 detik didapatkan 1 sampel hasil pengukuran jarak.

Selanjutnya, data yang diperoleh diolah menggunakan *software* Microsoft Excel sesuai dengan parameter nilai yang dicari yaitu ketelitian dan ketepatan sesuai dengan persamaan (4) dan (5). Adapun data yang diperoleh dari pengujian sensor untuk mendapatkan model regresi linearnya seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Pengolahan Kalibrasi Sensor HC-SR04

| Jarak (standarisasi penggaris) (cm) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Rata-rata | 4,7 | 9,8 | 14,9 | 19,2 | 24,8 | 28,6 |
| Standar Deviasi | 0,44 | 0,43 | 0,56 | 0,56 | 0,37 | 0,61 |
| Ketelitian (%) | 90,62 | 95,65 | 96,22 | 97,09 | 98,49 | 97,88 |
| Ketepatan (%) | 94,84 | 97,74 | 99,14 | 96,13 | 99,35 | 95,48 |

Setelah diperoleh nilai-nilai yang diperlukan, selanjutnya dilakukan plotting model regresi linear seperti pada gambar 5.



Gambar 5 Grafik Regresi Linear Kalibrasi Sensor HC-SR04

Dari gambar 5 diperoleh persamaan model regresi linearnya yaitu seperti pada persamaan (6).

$$Y = 1,0294X \tag{6}$$

Kemudian persamaan (6) dimasukkan ke dalam program pembacaan jarak sensor HC-SR04, dimana X adalah jarak yang terhitung oleh sensor dan Y adalah hasil pengukuran jarak yang telah dikoreksi dengan fungsi regresi linear kalibrasi. Sehingga data hasil pengukuran jarak sensor HC-SR04 seperti pada Tabel 2.

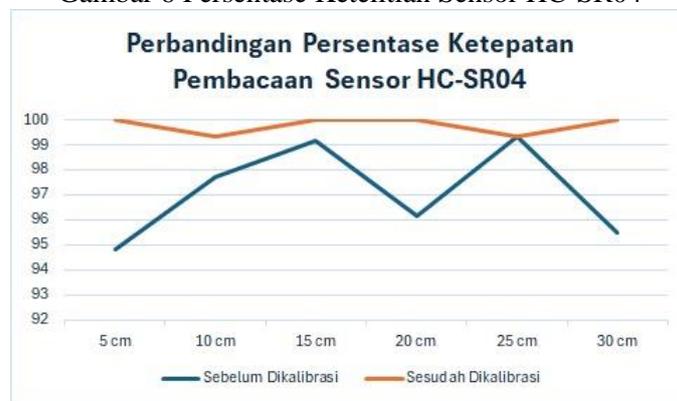
Tabel 2 Data Hasil Kalibrasi Sensor HC-SR04

| | | | | | | |
|-------------------------------------|-----|-------|-----|-----|-------|-----|
| Jarak (standarisasi penggaris) (cm) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| Rata-rata | 5 | 10,1 | 15 | 20 | 24,8 | 30 |
| Standar Deviasi | 0 | 0,25 | 0 | 0 | 0,37 | 0 |
| Ketelitian (%) | 100 | 97,52 | 100 | 100 | 98,49 | 100 |
| Ketepatan (%) | 100 | 99,35 | 100 | 100 | 99,35 | 100 |

Kemudian, untuk melihat persentase perbandingan ketepatan dan ketelitian hasil pembacaan sensor HC-SR04 sebelum dan sesudah dikalibrasi seperti pada gambar 6 dan gambar 7.



Gambar 6 Persentase Ketelitian Sensor HC-SR04



Gambar 7 Persentase Ketepatan Sensor HC-SR04

Berdasarkan perbandingan performa pengukuran sensor HC-SR04 sebelum dan sesudah dikalibrari didapatkan bahwa, terdapat peningkatan yang signifikan baik dalam ketelitian maupun ketepatan pengukuran setelah kalibrasi dilakukan. Ketelitian, yang merupakan tingkat konsistensi hasil pengukuran dari alat ukur yang sama dalam kondisi yang sama, menunjukkan perbaikan yang signifikan setelah kalibrasi, terutama pada jarak 5 cm dan 15 cm. Ini menunjukkan bahwa sensor mampu memberikan hasil yang lebih konsisten pada jarak yang sama setelah kalibrasi dilakukan.

Selain itu, ketepatan hasil pengukuran, yang mengukur seberapa dekat hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya atau nilai yang diharapkan, juga mengalami peningkatan yang signifikan pada semua jarak yang diuji setelah kalibrasi, dengan perbaikan terbesar terjadi pada jarak 5 cm, 15 cm, 20 cm, dan 30 cm yang mencapai nilai 100%.

3. 2 Pengujian Relay, Solenoid Valve dan Serial Monitor

Pengujian ini dilakukan untuk melihat fungsionalitas *coil* Relay dan katup Solenoid. Pengujian dilakukan dengan menaruh objek di depan sensor HC-SR04, kemudian program yang sudah diatur oleh Arduino akan melakukan *testing* uji kerja aktuator. Selanjutnya, pengujian serial monitor dilakukan dengan menampilkan pesan kondisi jarak atau ketinggian air dan informasi ON/OFF katup solenoid.

Tabel 3 Data Pengujian Kerja Aktuator di Serial Monitor dengan Kondisi Real

| Jarak (cm) | Hasil Serial Monitor | Hasil Kondisi Real |
|------------|----------------------|--------------------|
| 2 | Relay ON; | Relay ON; |

| | | |
|----|---------------------------|---------------------------|
| | Solenoid NC | Solenoid NC |
| 3 | Relay ON; Solenoid NC | Relay ON; Solenoid NC |
| 4 | Relay ON; Solenoid NC | Relay ON; Solenoid NC |
| 5 | Relay OFF; Solenoid NO | Relay OFF; Solenoid NO |
| 6 | Relay OFF; Solenoid NO | Relay OFF; Solenoid NO |
| 9 | Relay OFF; Solenoid NO | Relay OFF; Solenoid NO |
| 10 | Relay OFF; Solenoid NO | Relay OFF; Solenoid NO |
| 11 | Relay OFF; Solenoid NO | Relay OFF; Solenoid NO |

Jarak: 4 cm

Solenoid Valve Ditutup

Jarak: 3 cm

Solenoid Valve Ditutup

Gambar 8 Data Sampe Pengujian Jarak < 5cm pada Serial Monitor

Jarak: 5 cm

Solenoid Valve Terbuka

Jarak: 10 cm

Solenoid Valve Terbuka

Jarak: 9 cm

Solenoid Valve Terbuka

Gambar 9 Data Sampel Pengujian Jarak > 5cm pada Serial Monitor



Gambar 10 Sampel Verifikasi Manual Pengujian Jarak < 5cm (*Green Indicator Lamp Relay OFF*)



Gambar 11. Sampel Verifikasi Manual Pengujian Jarak > 5cm (*Green Indicator Lamp Relay ON*)

Pengujian dilakukan secara acak berdasarkan variasi jarak yang terukur, kemudian pengecekan dilakukan sebanyak dua kali yaitu meninjau informasi pada serial monitor dan verifikasi dengan kondisi real atau manual menggunakan indera penglihatan dan pendengaran, melihat untuk kondisi nyala indikator lampu relay dan mendengar untuk kondisi klik *coil* relay dan katup solenoid.

Dari hasil pengujian, karena Relay yang digunakan adalah tipe *low level trigger* jadi sinyal pemicu 0 (LOW) untuk mengaktifkan relay serta indikator lampu hijau mati dan sinyal 1 (HIGH) untuk menonaktifkan relay serta indikator lampu hijau hidup. Karena solenoid yang dipakai merupakan tipe *Normally Open* (NO) jadi dalam keadaan tidak ada sinyal listrik maka katup akan dengan normal terbuka, sehingga ketika menerima sinyal listrik dari Relay (ON) maka katup solenoid akan tertutup atau NC (*Normally Close*). Maka berlaku sebaliknya, ketika relay tidak memberikan sinyal listrik (OFF) maka katup solenoid akan tetap terbuka atau NO (*Normally Open*).

3. 3 Hasil Perancangan dan Uji Kerja Alat

Hasil dari perancangan alat ini berupa prototipe sistem pengontrol level ketinggian tangki air, tujuan utama dalam melakukan kalibrasi pengukuran pada sensor HC-SR04 secara efektif meningkatkan ketelitian dan ketepatan sensor dalam membaca jarak suatu objek.

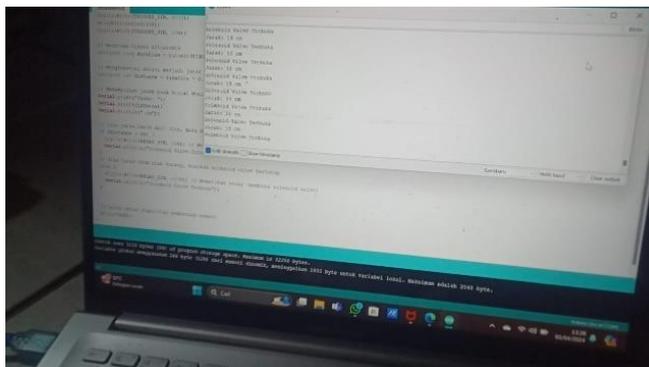


Gambar 12 Implementasi Pengujian Alat Pada Pipa Pompa Air

Pengujian dilakukan secara terbatas dengan menghubungkan solenoid valve pada pipa dan selang sebagai keran air keluar. Sumber air berasal dari pompa air bor tanah langsung, sehingga menyebabkan tekanan air yang cukup besar menyebabkan kondisi *Normally Close*

(NC) dari solenoid tetap ada sedikit celah untuk air keluar. Meskipun demikian, kinerja buka tutup katup solenoid tetap berjalan secara efektif.

Tampilan pada *serial monitor* menjadikan migrasi informasi pembacaan sistem relatif cepat, akan tetapi dalam kondisi tertentu dapat dinilai tidak efektif karena diperlukannya konektivitas dengan laptop yang membuat rancangan alat terbatas untuk mobilitas yang tinggi.



Gambar 13 Tampilan *Serial Monitor*

4. KESIMPULAN

Kalibrasi sensor ultrasonik HC-SR04 pada protipe sistem pengontrol level ketinggian tangki air dengan metode regresi linear didapatkan hasil yang signifikan terhadap ketelitian dan ketepatan sensor dalam mengukur jarak. Pada ketepatan khususnya, empat variasi jarak yaitu 5 cm, 15 cm, 20 cm, dan 30 cm nilai ketepatannya mencapai 100% yang berarti ketelitiannya dalam melakukan pengukuran pun presisi dengan jarak asli yang diukur menggunakan alat ukur terstandarisasi. Kekurangan alat ini terdapat pada *output* hasil perancangan mekaniknya, dimana karena masih berupa prototipe jadi keamanan berupa *packaging* dari komponen *hardware* nya belum terpenuhi. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengembangan mekenaik guna memenuhi K3 alat.

5. SARAN

Untuk penelitian selanjutnya, pengembangan mekanik pelindung alat dapat dirancang untuk mengamankan alat dari gangguan eksternal, penanaman logika cerdas seperti *fuzzy logic* memungkinkan output yang sesuai dengan variasi keadaan tangki, serta proses *monitoring* dapat diintegrasikan dengan *Artificial Intelligence* dan *Internet of Things* (AIoT).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. S. Khair, "Alat Pendeteksi Ketinggian Air Dan Keran Otomatis Menggunakan Water Level Sensor Berbasis Arduino Uno," *Wahana Inovasi: Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat UISU*, vol. 9, no. 1, pp. 9–15, 2020.
- [2] M. I. Wahyudi and R. A. Aziz, "Keran Air Wudhu Otomatis Menggunakan Sensor Infrared Sebagai Upaya Meminimalisasi Pemborosan Air," *Journal of Applied Computer Science and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 151–156, 2022.

- [3] N. Fajar and N. A. I. EP, "RANCANG BANGUN KERAN WUDU OTOMATIS," *JST (Jurnal Sains Terapan)*, vol. 9, no. 2, pp. 21–25, 2023.
 - [4] J. Fraden, "Handbook of modern sensors," *American Institute of Physics*, 1994.
 - [5] S. V. Angadi and R. L. Jackson, "A critical review on the solenoid valve reliability, performance and remaining useful life including its industrial applications," *Eng Fail Anal*, vol. 136, p. 106231, 2022.
 - [6] S. Syilfi, D. Ispriyanti, and D. Safitri, "Analisis Regresi Linier Piecewise Dua Segmen," *Jurnal Gaussian*, vol. 1, no. 1, pp. 219–228, 2012.
 - [7] G. N. Ayuni and D. Fitrihanah, "Penerapan metode Regresi Linear untuk prediksi penjualan properti pada PT XYZ," *Jurnal telematika*, vol. 14, no. 2, pp. 79–86, 2019.
 - [8] I. Fatwasauri, S. T. Erawati, M. Sasono, and R. F. Surakusumah, "Evaluasi Ketidakpastian Pengukuran dalam Kalibrasi Termometer Digital Menggunakan Persamaan Regresi Kalibrasi," *Indonesian Physics Communication*, vol. 18, no. 2, pp. 131–136, 2021.
 - [9] N. R. Draper, H. Smith, and B. Sumantri, *Analisis regresi terapan*. PT Gramedia Pustaka Utama, 1992.
 - [10] A. SULTON, "Perbandingan Hasil Proses Manufaktur Bilah Micro Wind Turbine Secara Manual Dan Mesin Cnc Menggunakan Metode QCD," 2021.
 - [11] A. Jalil and R. Hidayat, "SISTEM DETEKSI MUTU TELUR AYAM RAS MENGGUNAKAN SENSOR LDR (LIGHT DEPENDENT RESISTOR) BERBASIS ARDUINO UNO," *TEKNOKOM*, vol. 7, no. 1, pp. 197–204, Feb. 2024, doi: 10.31943/teknokom.v7i1.180.
 - [12] R. Rosaly and A. Prasetyo, "Pengertian Flowchart Beserta Fungsi dan Simbol-simbol Flowchart yang Paling Umum Digunakan." 2019.
-