

# ANALISIS AKURASI DAN KALIBRASI SENSOR FLOWMETER DAN LOAD CELL PADA SISTEM PENGISIAN BOTOL BERBASIS PLC MENGGUNAKAN REGRESI LINIER

Shervira Adhelia Tri Yandha<sup>1</sup>, Iskandar Lutfi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Prodi Sarjana Terapan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya, I. Sriwijaya Negara, Bukit Lama, Kec. Ilir Bar. I, Kota Palembang, Sumatera Selatan 30139, Telp. +620711353414

## Keywords:

PLC,  
Bottle Filling System,  
Flowmeter Sensor,  
Load Cell,  
Linear Regression.

## Correspondent Email:

shervira130504@gmail.com

**Abstrak.** Industri banyak menggunakan sistem pengisian botol otomatis untuk meningkatkan efisiensi dan konsistensi proses produksi. Sangat penting untuk menjaga kualitas produk yang dihasilkan. Dalam sistem pengisian botol berbasis PLC, *flowmeter* dan *load cell* digunakan untuk mengukur volume dan berat cairan selama proses pengisian. Namun, fitur sensor, fluktuasi aliran, dan kondisi sistem lainnya menyebabkan kedua sensor mengalami kesalahan pengukuran. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi tingkat akurasi sensor *flowmeter* dan *load cell* serta upaya meningkatkan akurasi pengukuran menggunakan metode kalibrasi regresi linier. Pengujian dilakukan dengan sepuluh kali percobaan pada volume target 350 mL dan 500 mL. Nilai error diperoleh dengan membandingkan hasil pengukuran dengan nilai referensi. Setelah itu, persamaan regresi linier digunakan untuk melakukan proses kalibrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor beban cell lebih akurat daripada sensor *flowmeter*. Kesalahan *flowmeter* sebelum kalibrasi sebesar 2,43%, sedangkan kesalahan *load cell* sebesar 0,54%; namun, kesalahan *load cell* turun menjadi 0,81% dan kesalahan *flowmeter* menjadi 0,18%. Hasil ini menunjukkan bahwa metode regresi linier efektif dalam mengurangi kesalahan pengukuran dan meningkatkan akurasi sensor pada sistem.



Copyright © 2026 The Author(s),  
Published by Jurnal Informatika dan  
Teknik Elektro Terapan. This is an  
open-access article distributed under  
the terms of the Creative Commons  
Attribution-NonCommercial 4.0  
International License (CC BY-NC  
4.0).

**Abstract.** Automatic bottle-filling systems are frequently used in industry to improve consistency and production efficiency. A key component in preserving product quality is the precision of liquid volume measurement. Liquid volume and weight are measured during filling in PLC-based bottle-filling systems using flowmeters and load-cell sensors. However, sensor features, flow variations, and operational circumstances can still lead to measurement inaccuracies. The objective of this study is to evaluate the accuracy of flowmeter and load cell sensors and enhance their measurement performance by calibrating them using linear regression. Target quantities of 350 mL and 500 mL were used in the experiments, with ten repetitions for each volume. After identifying measurement errors by comparing sensor data with reference values, linear regression equations were used to calibrate the sensors. The findings show that the load cell sensor outperforms the flowmeter sensor in terms of accuracy. The flowmeter's average error prior to calibration was 2.43%, but the load cell's average error was 0.54%. The average error dropped to 0.81% for the flowmeter and 0.18% for the load cell following the application of linear regression calibration. These results show that in PLC-based bottle-filling systems, the linear regression approach successfully reduces measurement errors and improves sensor accuracy.

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomasi industri, termasuk di bidang makanan, minuman, farmasi, dan kosmetik, telah mendorong penggunaan sistem pengisian botol otomatis. Penerapan sistem pengisian cairan otomatis berbasis PLC mampu meningkatkan produktivitas dan mengurangi kesalahan proses pengisian dibandingkan sistem manual [1]. Ketidakakuratan dalam pengukuran volume atau massa cairan yang dimasukkan ke dalam botol merupakan salah satu faktor yang menentukan kualitas proses pengisian. Ketidakakuratan ini dapat menyebabkan volume yang tidak sesuai, biaya produksi yang lebih tinggi, dan produk yang dihasilkan kurang berkualitas [2].

Karena mereka sangat andal, fleksibel, dan dapat diintegrasikan dengan berbagai sensor dan aktuator, *Programmable Logic Controllers* (PLC) banyak digunakan sebagai pusat pengendalian proses dalam sistem pengisian botol modern. PLC juga dapat mengontrol proses pengisian secara otomatis berdasarkan data yang diperoleh dari sensor pengukuran. Dalam sistem pengisian botol, sensor *flowmeter* dan *load cell* merupakan yang paling umum digunakan. Sensor *flowmeter* mengukur volume cairan berdasarkan laju aliran *fluida*, sedangkan sensor *load cell* mengukur massa cairan berdasarkan perubahan gaya yang diterima oleh sensor.[3].

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja sistem pengukuran dalam proses pengisian cairan. Berbagai metode kalibrasi telah dikembangkan untuk meningkatkan akurasi pengukuran *flowmeter* dan *load cell* serta mengurangi kesalahan yang disebabkan oleh karakteristik sensor dan kondisi operasional sistem. Kang dkk. meneliti metode kalibrasi *flowmeter* industri menggunakan pendekatan *density* dan *pressure matching* untuk meningkatkan stabilitas hasil pengukuran pada berbagai kondisi operasi [4]. Selain itu, penelitian terbaru pada *sensor load cell* menunjukkan bahwa metode kompensasi dan kalibrasi digital mampu meningkatkan akurasi pengukuran serta mengurangi pengaruh faktor lingkungan terhadap hasil pembacaan sensor [5]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa proses kalibrasi berperan penting dalam meningkatkan kualitas pengukuran sensor.

Meskipun banyak penelitian telah dilakukan mengenai kalibrasi *flowmeter* dan *load cell*, sebagian besar penelitian hanya membahas satu jenis sensor dan belum banyak membahas bagaimana kedua sensor tersebut bekerja dalam sistem pengisian botol yang sama. Selain itu, penelitian terdahulu biasanya berfokus pada pembuatan perangkat keras atau metode kalibrasi yang kompleks, sehingga mengakibatkan biaya implementasi yang relatif tinggi. Namun, penelitian terbaru telah menemukan bahwa kalibrasi *flowmeter* dan *load cell* lebih baik.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan penelitian yang mampu menganalisis secara menyeluruh tingkat akurasi sensor *flowmeter* dan *load cell* serta mengevaluasi efektivitas metode kalibrasi yang sederhana. Metode regresi linier dipilih sebagai metode kalibrasi karena memiliki proses perhitungan yang sederhana, tidak memerlukan perubahan perangkat keras, dan dapat menghasilkan persamaan koreksi yang dapat diterapkan secara langsung pada sistem pengukuran. Analisis perbandingan akurasi *flowmeter* dan *cell load* pada sistem pengisian botol berbasis PLC dan penerapan metode regresi linier untuk meningkatkan kinerja kedua sensor dalam satu platform sistem yang sama menjadi fokus baru penelitian ini.

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi tingkat akurasi sensor *flowmeter* dan *cell load* pada sistem pengisian botol berbasis PLC. Setelah kalibrasi menggunakan metode regresi linier, hasilnya diharapkan dapat membantu menentukan sensor dan metode kalibrasi yang tepat untuk meningkatkan kualitas sistem pengisian botol otomatis pada aplikasi tertentu.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Programmable Logic Controller (PLC)

*Programmable Logic Controller* (PLC) merupakan perangkat kontrol industri berbasis mikroprosesor yang digunakan untuk mengotomatisasi proses produksi. PLC banyak digunakan dalam sistem otomasi industri karena memiliki tingkat keandalan yang tinggi, kemudahan pemrograman, serta kemampuan mengendalikan berbagai perangkat masukan dan keluaran secara *real-time*. PLC juga mampu menggantikan sistem kontrol konvensional berbasis *relay* sehingga meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas proses

otomasi industri [6]. PLC menerima sinyal dari sensor dan memproses data menggunakan program yang tersimpan di memori. Kemudian, PLC mengeluarkan sinyal untuk mengontrol aktuator seperti motor, pompa, dan *solenoid valve*. PLC bertindak sebagai pusat kendali untuk sistem pengisian botol, mengatur proses deteksi botol, pengisian cairan, dan penghentian proses pengisian secara otomatis.

## 2.2 Sensor Flowmeter

Digunakan untuk mengukur laju aliran atau volume cairan yang mengalir di dalam sistem, sensor *flowmeter* mengubah karakteristik aliran fluida menjadi sinyal listrik yang dapat diproses oleh sistem kontrol. Alat yang bermanfaat untuk mengukur volume aliran air adalah sensor *flowmeter* [1]. *Flowmeter* digunakan dalam sistem pengisian botol untuk mengukur volume cairan yang masuk ke dalam botol selama proses pengisian. Akurasi flowmeter sangat dipengaruhi oleh kondisi aliran fluida dan instalasi sistem sehingga proses kalibrasi diperlukan untuk memastikan hasil pengukuran tetap sesuai dengan standar referensi [7]. Penggunaan flowmeter pada sistem pengisian cairan otomatis memungkinkan pengukuran volume cairan secara real-time sehingga meningkatkan akurasi dan konsistensi proses pengisian [8].

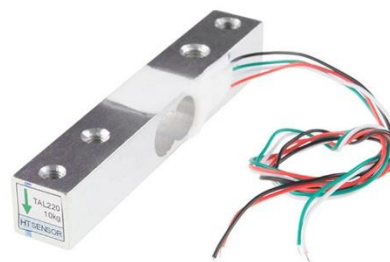


Gambar 2. 1 Sensor Flowmeter

## 2.3 Sensor Load Cell

*Load cell* merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur massa atau berat suatu objek berdasarkan perubahan resistansi pada *strain gauge*. Ketika menerima beban, elemen strain gauge mengalami deformasi sehingga menghasilkan perubahan resistansi yang kemudian dikonversi menjadi sinyal listrik yang sebanding dengan besar gaya yang diterima sensor [9]. Sensor ini banyak digunakan dalam sistem penimbangan karena memiliki tingkat akurasi dan sensitivitas yang tinggi. Sensor *load cell* memiliki sensitivitas

yang tinggi dan banyak digunakan pada sistem penimbangan digital karena mampu menghasilkan pengukuran yang akurat setelah dilakukan kalibrasi yang tepat. Karakteristik sensitivitas dan akurasi *load cell* sangat dipengaruhi oleh proses kalibrasi, posisi pembebanan, dan metode pengolahan data yang digunakan pada sistem pengukuran [10].



Gambar 2. 2 Sensor Load Cell

## 2.4 Analisis Error Pengukuran

Analisis error merupakan metode yang umum digunakan untuk mengevaluasi kualitas sistem pengukuran dan menentukan tingkat kesesuaian hasil pembacaan sensor terhadap nilai referensi [11]. Semakin kecil nilai error yang diperoleh, semakin baik tingkat akurasi sensor [12]. Persamaan error yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada persamaan (1) berikut

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{X_{\text{sensor}} - X_{\text{referensi}}}{X_{\text{referensi}}} \right| \times 100\%$$

dengan  $X_s$  merupakan hasil pembacaan sensor dan  $X_r$  merupakan nilai referensi.

## 2.5 Regresi Linier untuk Kalibrasi Sensor

Regresi linier merupakan metode statistik yang digunakan untuk menentukan hubungan antara data hasil pengukuran sensor dan nilai referensi. Regresi linier merupakan metode statistik yang digunakan untuk menentukan hubungan antara data hasil pengukuran sensor dan nilai referensi serta banyak digunakan dalam proses kalibrasi untuk memperoleh model koreksi yang sederhana dan akurat [13]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa metode regresi linier mampu meningkatkan akurasi sensor dengan membentuk persamaan koreksi yang merepresentasikan hubungan antara hasil pengukuran dan nilai referensi. Metode ini menghasilkan pengukuran yang lebih akurat dan konsisten setelah proses

kalibrasi dilakukan [14]. Pada proses kalibrasi, regresi linier digunakan untuk memperoleh persamaan koreksi agar hasil pembacaan sensor mendekati nilai sebenarnya. Metode ini banyak digunakan dalam proses kalibrasi karena sederhana, mudah diimplementasikan, dan mampu meningkatkan akurasi hasil pengukuran sensor [15]. Bentuk umum persamaan regresi linier ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$Y = aX + b$$

dengan (Y) merupakan nilai hasil kalibrasi, (X) merupakan nilai sensor, (a) adalah koefisien *slope*, dan (b) adalah konstanta atau *offset*.

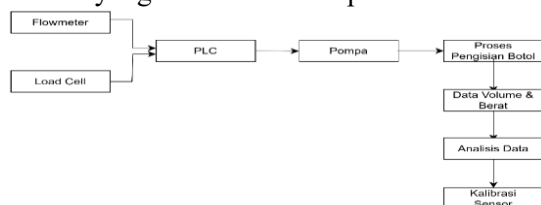
### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Rancangan Penelitian

Metode eksperimen digunakan dalam penelitian ini untuk mengevaluasi tingkat akurasi sensor *flowmeter* dan *load cell* pada sistem pengisian botol berbasis PLC. Pengumpulan data hasil pengukuran sensor, perhitungan error, kalibrasi menggunakan metode regresi linier, dan evaluasi hasil kalibrasi merupakan seluruh tahapan penelitian. Sistem pengisian botol diuji pada volume target 350 mL dan 500 mL, dengan pengulangan 10 kali untuk masing-masing volume.

#### 3.2 Arsitektur Sistem

Sistem yang digunakan terdiri dari PLC Schneider TWDLCAE40DRF sebagai pengendali utama, sensor *flowmeter* sebagai pengukur volume cairan, sensor *load cell* sebagai pengukur massa cairan, pompa air sebagai aktuator, dan botol sebagai media pengisian. PLC menerima data dari sensor kemudian mengontrol proses pengisian hingga volume yang ditentukan tercapai.



Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem

*Flowmeter* dan *load cell* digunakan secara bersamaan untuk memperoleh data pengukuran yang kemudian dibandingkan dengan nilai referensi. Nilai referensi diperoleh

menggunakan gelas ukur terkalibrasi dan timbangan digital sebagai alat ukur standar.

#### 3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengoperasikan sistem pengisian botol pada dua variasi volume, yaitu 350 mL dan 500 mL. Setiap volume diuji sebanyak 10 kali percobaan. Pada setiap percobaan dicatat nilai pembacaan sensor *flowmeter*, sensor *load cell*, dan nilai referensi.

Data yang diperoleh kemudian disusun dalam bentuk tabel untuk mempermudah proses analisis. Hasil pengukuran sensor dibandingkan dengan nilai referensi untuk mengetahui tingkat akurasi masing-masing sensor sebelum dilakukan proses kalibrasi.

#### 3.4 Analisis Error Pengukuran

Analisis error dilakukan untuk mengetahui tingkat kesalahan hasil pengukuran sensor terhadap nilai referensi. Persentase error dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{X_{\text{sensor}} - X_{\text{referensi}}}{X_{\text{referensi}}} \right| \times 100\%$$

dengan:

(X<sub>s</sub>) = nilai hasil pembacaan sensor

(X<sub>r</sub>) = nilai referensi

Semakin kecil nilai error yang diperoleh maka semakin tinggi tingkat akurasi sensor. Nilai error dihitung untuk seluruh data pengukuran sebelum dan sesudah proses kalibrasi.

#### 3.5 Kalibrasi Menggunakan Regresi Linier

Kalibrasi dilakukan menggunakan metode regresi linier untuk memperoleh hubungan matematis antara hasil pembacaan sensor dan nilai referensi. Persamaan regresi linier ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$Y = aX + b$$

dengan:

(Y) = nilai hasil kalibrasi

(X) = nilai hasil pembacaan sensor

(a) = koefisien *slope*

(b) = konstanta (*offset*)

Parameter *slope* dan *offset* diperoleh melalui analisis regresi linier berdasarkan pasangan data sensor dan data referensi. Persamaan yang

diperoleh kemudian digunakan sebagai faktor koreksi untuk memperbaiki hasil pembacaan sensor.

### 3.6 Evaluasi Hasil Kalibrasi

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan nilai error sebelum dan sesudah kalibrasi. Keberhasilan metode kalibrasi ditentukan berdasarkan penurunan nilai error rata-rata yang diperoleh dari sensor *flowmeter* dan *load cell*. Selain itu, dilakukan analisis grafik regresi untuk mengetahui tingkat hubungan antara hasil pengukuran sensor dan nilai referensi yang ditunjukkan oleh koefisien determinasi ( $R^2$ ).

Hasil evaluasi digunakan untuk menentukan sensor dengan tingkat akurasi terbaik serta menilai efektivitas metode regresi linier dalam meningkatkan kinerja sistem pengukuran pada sistem pengisian botol berbasis PLC.

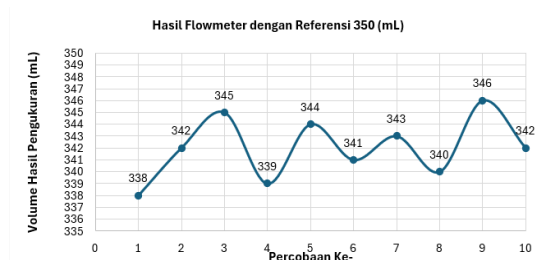
## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian Sensor Sebelum Kalibrasi

Dengan menggunakan dua sensor, *flowmeter* dan *load cell*, pengujian dilakukan pada sistem pengisian botol berbasis PLC. Dilakukan sepuluh percobaan pada volume target 350 mL dan 500 mL. Masing-masing pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan untuk memperoleh data yang representatif terhadap performa sensor.

**Tabel 4. 1** Hasil Pengujian *Flowmeter* pada Volume Referensi 350 mL

| Percobaan | Referensi (mL) | Hasil <i>Flowmeter</i> (mL) |
|-----------|----------------|-----------------------------|
| 1         | 350            | 338                         |
| 2         | 350            | 342                         |
| 3         | 350            | 345                         |
| 4         | 350            | 339                         |
| 5         | 350            | 344                         |
| 6         | 350            | 341                         |
| 7         | 350            | 343                         |
| 8         | 350            | 340                         |
| 9         | 350            | 346                         |
| 10        | 350            | 342                         |

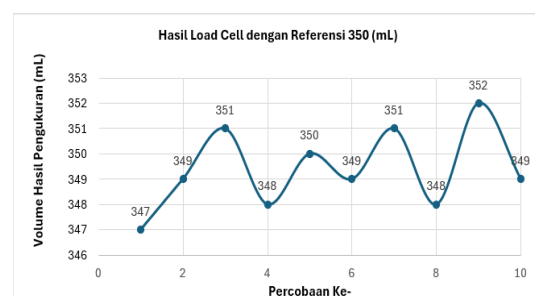


**Gambar 4. 1** Hasil Pengukuran Sensor *Flowmeter* pada Volume Referensi 350 mL

Berdasarkan Tabel 4.1 dan Gambar 4.1, hasil pengukuran sensor *flowmeter* pada volume referensi 350 mL berada dalam rentang 338–346 mL. Nilai pengukuran yang diperoleh masih berada di bawah nilai referensi yang telah ditetapkan. Hasil tersebut menunjukkan adanya penyimpangan pengukuran yang mengindikasikan perlunya kalibrasi untuk meningkatkan akurasi sensor.

**Tabel 4. 2** Hasil Pengujian *Load Cell* pada Volume Referensi 350 mL

| Percobaan | Referensi (mL) | Hasil <i>Load Cell</i> (mL) |
|-----------|----------------|-----------------------------|
| 1         | 350            | 347                         |
| 2         | 350            | 349                         |
| 3         | 350            | 351                         |
| 4         | 350            | 348                         |
| 5         | 350            | 350                         |
| 6         | 350            | 349                         |
| 7         | 350            | 351                         |
| 8         | 350            | 348                         |
| 9         | 350            | 346                         |
| 10        | 350            | 342                         |



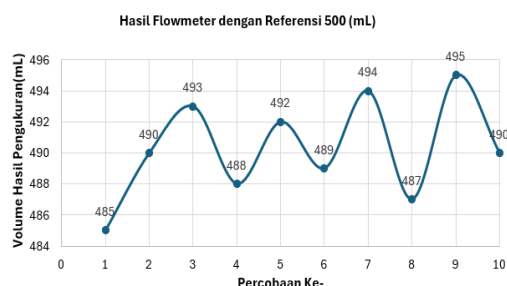
**Gambar 4. 2** Hasil Pengujian *Load Cell* pada Volume Referensi 350 mL

Berdasarkan Tabel 4.2 dan Gambar 4.2, sensor *load cell* menghasilkan nilai pengukuran pada rentang 347–352 mL. Hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa nilai yang diperoleh lebih mendekati volume referensi dibandingkan dengan nilai yang diperoleh dari

sensor *flowmeter*. Hal ini menunjukkan bahwa sensor *load cell* memiliki tingkat akurasi yang lebih baik pada pengujian dengan volume 350 mL.

**Tabel 4. 3** Hasil Pengujian *Flowmeter* pada Volume Referensi 500 mL

| Percobaan | Referensi (mL) | Hasil <i>Flowmeter</i> (mL) |
|-----------|----------------|-----------------------------|
| 1         | 500            | 485                         |
| 2         | 500            | 490                         |
| 3         | 500            | 493                         |
| 4         | 500            | 488                         |
| 5         | 500            | 492                         |
| 6         | 500            | 489                         |
| 7         | 500            | 494                         |
| 8         | 500            | 487                         |
| 9         | 500            | 495                         |
| 10        | 500            | 490                         |



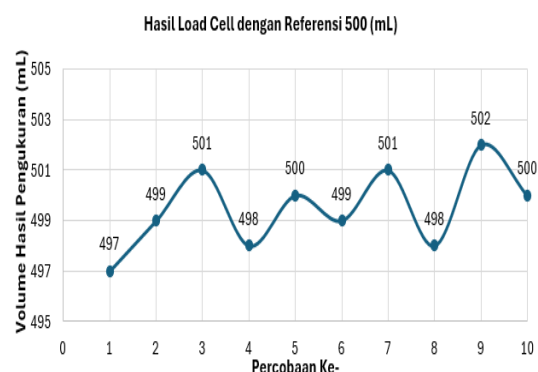
**Gambar 4. 3** Hasil Pengujian *Flowmeter* pada Volume Referensi 500 mL

Berdasarkan Tabel 4.3 dan Gambar 4.3, hasil pengukuran sensor *flowmeter* pada volume referensi 500 mL berada dalam rentang 485–495 mL. Meskipun hasil pengukuran menunjukkan pola yang relatif stabil pada setiap percobaan, masih terdapat selisih sebesar 500 mL dibandingkan dengan nilai referensi. Hal ini menunjukkan bahwa sensor *flowmeter* masih memiliki tingkat error yang cukup besar dibandingkan dengan sensor *load cell*.

**Tabel 4. 4** Hasil Pengujian *Load Cell* pada Volume Referensi 500 mL

| Percobaan | Referensi (mL) | Hasil <i>Load Cell</i> (mL) |
|-----------|----------------|-----------------------------|
| 1         | 500            | 497                         |
| 2         | 500            | 499                         |
| 3         | 500            | 501                         |

| Percobaan | Referensi (mL) | Hasil <i>Load Cell</i> (mL) |
|-----------|----------------|-----------------------------|
| 4         | 500            | 498                         |
| 5         | 500            | 500                         |
| 6         | 500            | 499                         |
| 7         | 500            | 501                         |
| 8         | 500            | 498                         |
| 9         | 500            | 502                         |
| 10        | 500            | 500                         |



**Gambar 4. 4** Hasil Pengujian *Load Cell* pada Volume Referensi 500 mL

Berdasarkan Tabel 4.4 dan Gambar 4.4, hasil pengukuran sensor *load cell* berada pada rentang 497–502 mL. Nilai pengukuran yang dihasilkan sangat dekat dengan volume referensi 500 mL sehingga menunjukkan tingkat penyimpangan yang relatif kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa sensor *load cell* memiliki performa pengukuran yang lebih baik dibandingkan dengan sensor *flowmeter*.

Secara keseluruhan, hasil pengujian awal menunjukkan bahwa kedua sensor mampu bekerja dengan baik dalam sistem pengisian botol berbasis PLC. Namun demikian, sensor *load cell* menghasilkan nilai pengukuran yang lebih mendekati nilai referensi dibandingkan dengan sensor *flowmeter*. Oleh karena itu, dilakukan analisis error dan proses kalibrasi untuk meningkatkan akurasi pengukuran pada kedua sensor.

#### 4.2 Analisis Error Sensor Sebelum Kalibrasi

Nilai error dihitung menggunakan Persamaan (1) untuk mengetahui tingkat kesalahan masing-masing sensor terhadap nilai referensi.

**Tabel 4. 5 Rata-Rata Error Sebelum Kalibrasi**

| Sensor           | Error Rata-Rata (%) |
|------------------|---------------------|
| <i>Flowmeter</i> | 2,43                |
| <i>Load Cell</i> | 0,54                |

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sensor *flowmeter* memiliki error rata-rata sebesar 2,43%, sedangkan sensor *load cell* memiliki error rata-rata sebesar 0,54%. Nilai error yang lebih kecil pada *load cell* menunjukkan bahwa sensor tersebut lebih stabil dalam melakukan pengukuran dibandingkan dengan *flowmeter*. Perbedaan ini terjadi karena *flowmeter* dipengaruhi oleh kondisi aliran fluida, turbulensi, dan perubahan tekanan selama proses pengisian. Sebaliknya, *load cell* melakukan pengukuran massa secara langsung sehingga lebih sedikit dipengaruhi oleh kondisi aliran.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Kang dkk. [4] Yang menyatakan bahwa akurasi *flowmeter* sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi dan memerlukan proses kalibrasi untuk meningkatkan kestabilan pengukuran. Selain itu, penelitian Xiao dkk. [5] Menunjukkan bahwa sensor *load cell* memiliki tingkat akurasi yang tinggi setelah dilakukan kompensasi dan kalibrasi yang tepat.

#### 4.3 Kalibrasi Menggunakan Regresi Linier

Kalibrasi sensor dilakukan untuk meningkatkan akurasi hasil pengukuran dengan mengurangi penyimpangan antara nilai yang terbaca oleh sensor dan nilai referensi. Pada penelitian ini, metode regresi linier digunakan sebagai metode kalibrasi karena mampu membentuk hubungan matematis antara hasil pembacaan sensor dan nilai referensi yang digunakan pada proses pengujian. Data hasil pengukuran sensor *flowmeter* dan *load cell* pada volume referensi 350 mL dan 500 mL digunakan sebagai dasar penyusunan model regresi.

Melalui metode regresi linier, diperoleh persamaan koreksi yang dapat digunakan untuk memperbaiki hasil pembacaan sensor agar lebih mendekati nilai sebenarnya. Selain itu, nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) digunakan untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian model regresi terhadap data pengukuran yang diperoleh. Hasil kalibrasi ditunjukkan pada Tabel 4.6.

**Tabel 4. 6 Hasil Regresi Linier Sensor**

| Sensor           | Persamaan Regresi    | $R^2$ |
|------------------|----------------------|-------|
| <i>Flowmeter</i> | $Y = 1,021X + 4,365$ | 0,997 |
| <i>Load Cell</i> | $Y = 0,994X + 2,187$ | 0,998 |

Keterangan:

Y = nilai hasil kalibrasi

X = hasil pembacaan sensor

$R^2$  = koefisien determinasi

Berdasarkan Tabel 4.6, diperoleh persamaan regresi linier untuk sensor *flowmeter* dan *load cell* yang digunakan sebagai model kalibrasi. Persamaan regresi tersebut menunjukkan hubungan antara hasil pembacaan sensor dan nilai referensi yang digunakan dalam proses pengujian. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) pada kedua sensor mendekati satu, yaitu sebesar 0,997 untuk *flowmeter* dan 0,998 untuk *load cell*.

Nilai  $R^2$  yang mendekati satu menunjukkan bahwa hubungan antara hasil pengukuran sensor dan nilai referensi sangat kuat. Hal ini mengindikasikan bahwa model regresi yang diperoleh mampu merepresentasikan karakteristik pengukuran sensor dengan baik. Semakin tinggi nilai  $R^2$ , maka semakin besar kemampuan model regresi dalam menjelaskan hubungan antara variabel yang dianalisis.

Hasil regresi menunjukkan bahwa sensor *load cell* memiliki nilai koefisien determinasi yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan sensor *flowmeter*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sensor *load cell* memiliki tingkat konsistensi pengukuran yang lebih baik dibandingkan dengan nilai referensi. Meskipun demikian, kedua sensor menunjukkan hubungan linier yang sangat kuat sehingga persamaan regresi yang diperoleh dapat digunakan sebagai faktor koreksi untuk meningkatkan akurasi pengukuran.

Penerapan regresi linier pada proses kalibrasi memungkinkan sistem pengisian botol berbasis PLC menghasilkan pengukuran yang lebih akurat. Persamaan regresi yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk mengoreksi hasil pembacaan sensor sebelum dilakukan evaluasi kembali terhadap nilai error pada tahap pengujian setelah kalibrasi.

#### 4.4 Hasil Pengujian Setelah Kalibrasi

Setelah diperoleh persamaan regresi linier pada tahap kalibrasi, dilakukan proses koreksi terhadap hasil pembacaan sensor *flowmeter* dan *load cell* menggunakan persamaan regresi yang telah diperoleh. Tujuan proses koreksi ini adalah untuk mengurangi penyimpangan hasil pengukuran dari nilai referensi sehingga tingkat akurasi sensor dapat ditingkatkan.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan ulang nilai error menggunakan Persamaan (1) untuk mengetahui pengaruh proses kalibrasi terhadap kinerja pengukuran sensor. Hasil perbandingan error sebelum dan sesudah kalibrasi ditunjukkan pada Tabel 4.7.

**Tabel 4. 7** Perbandingan Error Sensor Sebelum dan Setelah Kalibrasi

| Sensor           | Error Sebelum Kalibrasi (%) | Error Setelah Kalibrasi (%) |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <i>Flowmeter</i> | 2,43                        | 0,81                        |
| <i>Load Cell</i> | 0,54                        | 0,18                        |

Berdasarkan Tabel 4.7, terlihat bahwa proses kalibrasi menggunakan regresi linier mampu menurunkan nilai error pada kedua sensor. Sensor *flowmeter* mengalami penurunan error dari 2,43% menjadi 0,81%, sedangkan sensor *load cell* mengalami penurunan error dari 0,54% menjadi 0,18%.

Penurunan nilai error pada sensor *flowmeter* menunjukkan bahwa persamaan regresi yang diperoleh mampu mengoreksi hasil pembacaan sensor sehingga lebih mendekati nilai referensi. Meskipun sebelum kalibrasi sensor *flowmeter* memiliki tingkat penyimpangan yang relatif lebih besar dibandingkan dengan *load cell*, hasil setelah kalibrasi menunjukkan peningkatan akurasi yang cukup signifikan.

Pada sensor *load cell*, nilai error yang sudah relatif kecil sebelum kalibrasi masih dapat diturunkan setelah penerapan persamaan regresi. Hal ini menunjukkan bahwa metode regresi linier tidak hanya efektif untuk mengurangi error yang besar, tetapi juga mampu meningkatkan ketelitian pengukuran pada sensor yang telah memiliki akurasi tinggi.

Secara keseluruhan, hasil pengujian setelah kalibrasi menunjukkan bahwa metode regresi linier berhasil meningkatkan kinerja sistem pengukuran pada sistem pengisian botol

berbasis PLC. Persamaan regresi yang diperoleh mampu memperbaiki hasil pembacaan sensor sehingga menghasilkan nilai pengukuran yang lebih mendekati volume referensi yang telah ditetapkan.

#### 5. KESIMPULAN

1. Pengujian sensor pada sistem pengisian botol berbasis PLC menunjukkan bahwa sensor *flowmeter* dan *load cell* mampu digunakan untuk mengukur volume cairan pada proses pengisian botol otomatis dengan volume referensi 350 mL dan 500 mL.
2. Hasil pengujian sebelum kalibrasi menunjukkan bahwa sensor *load cell* memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan sensor *flowmeter*. Nilai error rata-rata sensor *flowmeter* sebesar 2,43%, sedangkan sensor *load cell* sebesar 0,54%.
3. Metode regresi linier berhasil digunakan sebagai metode kalibrasi untuk meningkatkan akurasi pengukuran pada kedua sensor. Persamaan regresi yang diperoleh dapat digunakan sebagai faktor koreksi terhadap hasil pembacaan sensor.
4. Setelah proses kalibrasi, nilai error sensor *flowmeter* menurun dari 2,43% menjadi 0,81%, sedangkan nilai error sensor *load cell* menurun dari 0,54% menjadi 0,18%. Hasil ini menunjukkan bahwa metode regresi linier efektif dalam mengurangi kesalahan pengukuran.
5. Berdasarkan seluruh hasil pengujian, sensor *load cell* menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan dengan sensor *flowmeter* dalam sistem pengisian botol berbasis PLC karena menghasilkan nilai error yang lebih kecil baik sebelum maupun setelah proses kalibrasi.
6. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan lebih banyak variasi volume referensi serta menerapkan metode kalibrasi yang lebih kompleks seperti polynomial regression atau machine learning untuk meningkatkan akurasi sistem pengukuran.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh rekan yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan motivasi selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini. Dukungan yang diberikan sangat membantu

sehingga penelitian dan publikasi ini dapat diselesaikan dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. F. Sihotang and R. Maulana, "RANCANG BANGUN SISTEM PENGISIAN AIR GALON OTOMATIS MENGGUNAKAN SENSOR PROXIMITY DAN," vol. 12, no. 3, 2024, doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.5115>.
- [2] S. Rangkuti, E. Firmansyah, and S. Anwar, "Water Bottle Filling Conveyor Design Based on Prorammmable Logic Controller," vol. 5, no. 3, pp. 191–200, 2023, doi: 10.52005/fidelity.v5i3.180.
- [3] P. Rizky, J. Kusuma, I. K. Parti, I. K. Darminta, and I. N. Mudiana, "Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology Kajian penerapan PLC untuk meningkatkan produktivitas proses pengisian air dan penutup botol otomatis," vol. 3, pp. 64–70, 2022.
- [4] W. Kang *et al.*, "applied sciences Investigation of a Calibration Method of Coriolis Mass Flowmeters by Density- and Pressure-Matching Approaches for Hydrogen Refueling Stations," 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/app122412609>.
- [5] F. Xiao, X. Wang, Y. Cheng, W. Liu, and Y. Li, "A Dynamic Temperature Compensation Method for," vol. 25, no. 19, pp. 35844–35852, 2025, doi: 10.1109/JSEN.2025.3598735.
- [6] W. Hubei, "Application of PLC technology in electrical engineering and automation control Luxian Fang," vol. 107, no. Meita 2016, pp. 272–275, 2017, doi: 10.2991/meita-16.2017.56.
- [7] M. Takahashi, Y. Bando, T. Fukui, A. Maruyama, and M. Sugita, "applied sciences Straight Jump Landing Position of Trampoline Gymnasts with Stable Occlusal Balance Reflects Standing Postural Control Function," 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/app13116689>.
- [8] M. Ochowiak, B. Kwapisz, M. Mrugalski, and M. Matuszak, "Flow Rate Control by Means of Flow Meter and PLC Controller," 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/s21186153>.
- [9] R. H. Adam and M. Medan, "Correlation Between Inferior Vena Cava Collapsibility Index And Central Venous Pressure To Assess Volume Status Of Critical Patients In Intensive Care Unit In," vol. 11, no. 8, pp. 626–629, 2021, doi: <http://dx.doi.org/10.29322/IJSRP.11.08.2021.p11676>.
- [10] C. Habiba and A. Prayogo, "Characterizing Positional Sensitivity of Low-Cost Load Cells for IoT- Based Weighing Systems," vol. 05, 2025, doi: <https://doi.org/10.31763/iota.v5i3.10.02>.
- [11] A. Wijaya and K. Sari, "Comparative Analysis of Ultrasonic Sensor Accuracy for Smart Trash ATM Application," vol. 14, no. 2, pp. 414–424, 2025, doi: <https://doi.org/10.23887/jst-undiksha.v14i2.101049> Comparative.
- [12] S. Sun *et al.*, "Development of a Smart Clinical Bluetooth Thermometer Development of a Smart Based on an Improved on an Improved Low-Power Resistive Transducer Circuit," 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/s22030874>.
- [13] N. Environments, "GPC-YOLO : An Improved Lightweight YOLOv8n Network for," pp. 1–20, 2025, doi: <https://doi.org/10.3390/s25051502>.
- [14] M. P. Hasibuan, T. Elektro, and P. Negeri, "KALIBRASI SENSOR TEKANAN HK1100C DENGAN METODE," vol. 13, no. 3, doi: <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3.6624>.
- [15] H. Chen and C. Chen, "Evaluation of Calibration Equations by Using Regression Analysis : An Example of Chemical Analysis," 2022.