

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Overview Alat

Sistem ini merupakan alat pengisian botol otomatis yang dirancang untuk meningkatkan akurasi pengisian air. Sistem menggabungkan PLC sebagai pengendali utama proses otomasi, seperti conveyor dan pendeteksian botol, dengan ESP32 yang bertugas membaca data dari sensor flowmeter dan *load cell* untuk mengatur proses pengisian berdasarkan volume dan berat air secara real-time. Dengan integrasi ini, proses pengisian menjadi lebih presisi dan efisien. Overview alat ini mencakup deskripsi umum sistem serta alur kerja antara PLC dan ESP32 dalam menjalankan proses secara otomatis.

4.1.1 Deskripsi Sistem

Sistem pengisian botol yang dikembangkan merupakan pengembangan dari versi sebelumnya yang hanya mengandalkan sensor proximity kapasitif dan sepenuhnya dikendalikan oleh PLC. Pada sistem lama, proses pengisian dihentikan berdasarkan tinggi permukaan air, tanpa mengetahui volume atau berat pasti air yang masuk ke dalam botol. Akibatnya, proses pengisian tidak akurat dan tidak dapat disesuaikan secara presisi.

Dalam sistem baru, bagian pengisian air dikendalikan oleh ESP32 yang membaca data dari sensor flowmeter dan *load cell*. Dengan adanya sensor ini, sistem dapat memantau dan mengendalikan volume dan berat air secara real-time. Meskipun proses pengisian dialihkan ke ESP32, PLC tetap digunakan sebagai pengatur utama jalur produksi, seperti pergerakan conveyor dan deteksi keberadaan botol.

Ketika proses pengisian berlangsung, data dari flowmeter dan *load cell* ditampilkan di LCD serta dikirim ke platform IoT (Blynk) untuk pemantauan jarak jauh. Proses pengisian dihentikan secara otomatis saat volume atau berat yang diinginkan telah tercapai. Setelah itu, conveyor kembali aktif untuk memindahkan botol ke proses berikutnya.

4.1.2 Alur Kerja Sistem

Alur kerja sistem ini diawali saat tombol start ditekan, yang menyebabkan conveyor 1 bergerak membawa botol menuju stasiun pengisian. Ketika botol tiba di posisi pengisian, sensor proximity akan mendeteksi keberadaan botol. Sinyal dari sensor proximity ini dibagi menjadi dua jalur, yaitu satu menuju PLC dan satu lagi ke ESP32. Sinyal ke PLC berfungsi untuk menghentikan sementara conveyor 1 agar botol tetap berada di tempat pengisian, sedangkan sinyal ke ESP32 menjadi pemicu awal untuk memulai proses pengisian air.

Setelah menerima sinyal tersebut, ESP32 menjalankan proses kalibrasi awal pada sensor *load cell* untuk memastikan berat mulai dari nol. Selanjutnya, ESP32 mengaktifkan motor pompa air melalui relay. Selama pompa aktif, ESP32 terus membaca data dari dua sensor secara simultan, yaitu sensor flowmeter YF-S401 untuk mengukur volume air yang mengalir, dan sensor *load cell* HX711 untuk mengukur berat air yang masuk ke dalam botol. Data dari kedua sensor ini ditampilkan secara real-time pada LCD I2C 16x2, dan juga dikirimkan ke platform IoT berbasis Blynk, sehingga pengguna dapat memantau proses pengisian secara langsung melalui perangkat seluler.

Proses pengisian akan berhenti secara otomatis ketika volume air yang ditentukan telah tercapai, sesuai pengaturan awal pada program ESP32. Dalam versi ini, pengambilan keputusan dihentikannya pompa lebih difokuskan pada pembacaan dari sensor *load cell* karena dinilai lebih akurat. Setelah pompa dimatikan, ESP32 mengirimkan sinyal digital HIGH ke PLC melalui output GPIO sebagai indikator bahwa proses pengisian telah selesai.

Setelah menerima sinyal dari ESP32, PLC kembali mengaktifkan conveyor 1 untuk menggerakkan botol ke tahapan berikutnya dalam proses produksi. Sistem kemudian kembali ke kondisi awal, menunggu botol selanjutnya terdeteksi oleh sensor proximity untuk memulai siklus baru.

Dengan alur kerja ini, sistem mampu melakukan proses pengisian secara otomatis, efisien, dan presisi, serta memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui IoT. Integrasi antara PLC dan ESP32 memberikan fleksibilitas tinggi dalam pembagian tugas, di mana ESP32 difokuskan untuk kontrol berbasis sensor dan PLC tetap memegang kendali utama jalur produksi.

4.1.3 Alat Pendukung Pengujian

Dalam proses pengujian sistem pengisian botol otomatis, diperlukan beberapa alat pendukung untuk memperoleh data pembandingan serta memfasilitasi proses pemrograman dan pemantauan sistem. Adapun alat pendukung yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

i. Laptop

Laptop digunakan sebagai perangkat utama untuk melakukan pemrograman mikrokontroler ESP32 melalui Arduino IDE. Selain itu, laptop juga digunakan untuk memantau data dari serial monitor dan mengupload program ke perangkat.

ii. Gelas Ukur

Gelas ukur berfungsi sebagai alat bantu untuk mengetahui volume air aktual yang telah terisi ke dalam botol. Alat ini digunakan sebagai referensi manual untuk membandingkan keakuratan pembacaan sensor flowmeter, dengan satuan mililiter (mL).

iii. Sensor *Load cell*

Sensor *load cell* digunakan untuk mengukur berat air yang masuk ke dalam botol selama proses pengisian. Sensor ini akan memberikan data berat dalam satuan gram, yang kemudian dibandingkan dengan data aktual dari gelas ukur untuk menguji keakuratannya.

iv. Sensor Flowmeter

Sensor flowmeter berfungsi untuk mengukur volume aliran air berdasarkan jumlah pulsa yang dihasilkan oleh perputaran baling-baling di dalam sensor. Hasil pengukuran ini digunakan untuk menentukan kapan proses pengisian harus dihentikan, serta dibandingkan dengan data dari gelas ukur untuk pengujian keakuratan sensor.

4.1.4 Langkah Pengambilan Data

Langkah pengambilan data dilakukan untuk memperoleh nilai pengukuran volume dan berat air dari sensor flowmeter dan *load cell*. Data ini kemudian dibandingkan dengan volume aktual yang diukur menggunakan gelas ukur sebagai

acuan. Tujuan dari proses ini adalah untuk mengetahui tingkat akurasi masing-masing sensor dalam sistem pengisian botol otomatis.

Adapun langkah-langkah pengambilan data dilakukan sebagai berikut:

- i. Menyiapkan Sistem
Sistem pengisian botol yang telah dirakit dihubungkan dengan laptop untuk pemantauan melalui serial monitor dan LCD. Gelas ukur, botol kosong, serta air bersih disiapkan sebagai media pengujian.
- ii. Mengatur Nilai Target
Volume target yang akan diisi ditentukan, misalnya 350 mL dan 500 mL,. Nilai ini akan digunakan sebagai batasan dalam sistem yang dikendalikan oleh ESP32.
- iii. Menyalakan Sistem dan Memulai Proses Pengisian
Sistem diaktifkan, lalu pompa akan mulai mengisi air ke dalam botol. Sensor flowmeter menghitung volume berdasarkan jumlah pulsa air yang mengalir, dan sensor *load cell* mengukur berat air yang bertambah.
- iv. Merekam Data Sensor
Selama proses pengisian berlangsung, nilai volume (dalam mL) dan berat (dalam gram) ditampilkan di LCD dan juga dicatat melalui serial monitor atau aplikasi Blynk. Data diambil saat proses berhenti otomatis berdasarkan batasan volume.
- v. Mengukur Volume Aktual dengan Gelas Ukur
Setelah pengisian selesai, air yang berada di dalam botol dituangkan ke dalam gelas ukur untuk mengetahui volume aktual. Nilai ini digunakan sebagai pembandingan dari data sensor flowmeter dan *load cell*.
- vi. Pengulangan Pengujian
Proses diulangi beberapa kali pada masing-masing target volume untuk mendapatkan data yang konsisten dan dapat dianalisis.
- vii. Pencatatan dan Analisis
Seluruh data dari pengujian dicatat dalam tabel, lalu dilakukan perhitungan akurasi dan selisih antara nilai sensor dengan volume aktual. Hasil analisis ini menjadi dasar dalam pembahasan perbandingan performa sensor flowmeter dan *load cell*.

4.2 Pemrograman PLC

Pemrograman sistem kendali merupakan inti dari proses otomatisasi pengisian botol. Yang bekerja secara terintegrasi. PLC digunakan untuk mengatur konveyor dll, sementara ESP32 digunakan untuk membaca data dari sensor flowmeter dan *load cell*, kemudian mengirimkan sinyal digital ke PLC saat target tercapai. Gambar di bawah ini menunjukkan Ladder Diagram dari Programmable Logic Controller (PLC) yang berfungsi sebagai kendali utama dalam sistem pengisian air ke dalam botol minum. Diagram ini menggambarkan alur logika kerja dari proses otomatisasi, mulai dari pengaktifan conveyor, pendeteksian posisi botol, hingga pengendalian proses pengisian dan pergerakan botol ke tahapan selanjutnya.



Gambar 4. 1 Ladder Diagram

Pada bagian ini ditampilkan ladder diagram hasil modifikasi dari bagian sebelumnya. Ketika tombol start ditekan, motor conveyor 1 (Q0.3) akan aktif dan bergerak hingga botol terdeteksi oleh sensor proximity, yang menandakan bahwa botol telah berada pada posisi pengisian. Setelah itu, sistem pengisian akan dimulai secara otomatis. Ketika proses pengisian selesai, sistem ESP32 akan mengirimkan sinyal digital HIGH melalui pin I0.8 dan akan mengaktifkan M12, lalu M12

mengirim sinyal ke PLC sebagai penanda bahwa proses telah selesai, PLC kemudian akan mengaktifkan kembali motor conveyor 1 (Q0.3) selama 5 detik untuk memindahkan botol yang telah terisi, dan setelah itu proses akan berlanjut ke tahapan berikutnya.

4.3 Tampilan dan Pemantauan Data Real-Time pada Blynk

Pada subbab ini dibahas mengenai hasil tampilan dan pemantauan data secara real-time menggunakan aplikasi Blynk. Aplikasi Blynk berfungsi sebagai platform Internet of Things (IoT) yang digunakan untuk menampilkan data dari sensor yang terhubung ke ESP32 secara jarak jauh melalui jaringan internet. Dalam sistem ini, dua jenis data utama yang dikirim dan ditampilkan melalui Blynk adalah data dari sensor *load cell* dan *Flow Meter*.

Sensor *load cell* digunakan untuk mengukur berat cairan dalam botol, yang ditampilkan dalam satuan gram (g). Sementara itu, sensor *Flow Meter* digunakan untuk mengukur volume cairan yang telah dialirkan ke dalam botol, dan hasilnya ditampilkan dalam satuan mili liter (mL). Kedua data ini dikirim secara berkala oleh ESP32 ke dashboard Blynk, sehingga pengguna dapat memantau proses pengisian secara langsung melalui aplikasi pada smartphone.

Tampilan pada aplikasi Blynk menggunakan beberapa widget seperti Display Value atau Gauge, yang memungkinkan pengguna melihat perubahan nilai berat dan volume secara dinamis selama proses pengisian berlangsung. Dengan adanya pemantauan data secara real-time ini, sistem menjadi lebih informatif dan memudahkan operator dalam memantau kinerja serta memastikan proses pengisian berjalan sesuai dengan target yang diinginkan.



Gambar 4. 2 Tampilan Display Pada Blynk

4.4 Hasil Pengujian Data

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan komparatif, yang bertujuan untuk membandingkan tingkat akurasi antara sensor flowmeter YF-S401 dan sensor *load cell* (dengan modul HX711) dalam proses pengisian botol air. Sensor flowmeter dipasang pada jalur aliran untuk mengukur volume air yang mengalir ke botol, sedangkan sensor *load cell* dipasang di bawah botol untuk mengukur berat air selama proses berlangsung. Kedua sensor membaca data secara bersamaan dalam satu siklus pengisian.

Air dialirkan melalui pompa air DC yang dikendalikan oleh ESP32 melalui modul relay. Sistem akan mematikan pompa secara otomatis saat salah satu dari dua nilai sensor telah mencapai target yang telah ditetapkan. Sebagai contoh, target volume pengisian awal ditetapkan sebesar 500 mL. Dengan mengasumsikan massa jenis air sebesar 1g/mL, maka target berat ekuivalen adalah 500 gram.

Selama proses berlangsung, data volume dan berat ditampilkan secara real-time melalui LCD I2C 16x2 dan hasilnya akan dikirim menggunakan platform IoT berupa blynk yang digunakan sebagai monitoring. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk memperoleh data rata-rata serta melihat konsistensi hasil dari kedua sensor. Tingkat akurasi masing-masing sensor dihitung menggunakan rumus error absolut sebagai berikut:

$$\%Error = \frac{\text{nilai Sensor} - \text{nilai Aktual}}{\text{Nilai Aktual}} \times 100\%$$

4.4.1 Hasil Pengujian Sensor *Load cell* dan *Flow Meter*

Pengujian dilakukan untuk membandingkan akurasi pembacaan sensor flowmeter dan *load cell* pada sistem pengisian botol air berbasis PLC dengan monitoring berbasis ESP32. Dua target volume digunakan, yaitu 350 mL dan 500 mL. Setiap pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk masing-masing target. Selama proses pengisian, data sensor ditampilkan secara real-time pada LCD I2C. Hasil pembacaan kemudian dibandingkan dengan volume aktual yang diukur menggunakan gelas ukur sebagai acuan, guna menilai seberapa akurat masing-masing sensor dalam mendeteksi jumlah air yang telah terisi.

Tabel 4. 1. Hasil Pengujian Sensor pada Target 500 mL

No.	Nilai Aktual (mL)	<i>Load cell</i> (g)	<i>Flow Meter</i> (mL)	Tampilan di LCD dan Blynk
1	505	501	525	
2	500	500	480	
3	505	502	420	
4	500	500	530	
5	505	503	600	

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sensor pada Target 350 mL

No.	Nilai Aktual (mL)	<i>Load cell</i> (g)	<i>Flow Meter</i> (mL)	Tampilan LCD dan Blynk
1	355	352	290	
2	350	354	335	
3	350	351	370	
4	355	350	350	
5	350	351	344	

4.4.2 Analisis Tingkat Akurasi

Untuk menilai kinerja masing-masing sensor, dilakukan perhitungan tingkat kesalahan (error) terhadap nilai aktual. Error dihitung menggunakan rumus persentase error absolut.

$$\%Error = \frac{\text{nilai Sensor} - \text{nilai Aktual}}{\text{Nilai Aktual}} \times 100\%$$

Tabel 4. 3 Error Sensor pada Target 500 mL

	Nilai Aktual (mL)	Loadcell (g)	Error LC (%)	Flowmeter (mL)	Error FM (%)
1	505	501	0.79	525	3.96
2	500	500	0.00	480	4.00
3	505	502	0.59	420	16.83
4	500	500	0.00	530	6.00
5	505	503	0.40	600	18.81
Rata-rata Error (%)			0.36%	-	9.92%

Tabel 4. 4 Error Sensor pada Target 350 mL

	Nilai Aktual (mL)	Loadcell (g)	Error LC (%)	Flowmeter (mL)	Error FM (%)
1	355	352	0.85	290	18.31
2	350	354	1.14	335	4.29
3	350	351	0.29	370	5.71
4	355	350	1.41	350	1.41
5	350	351	0.29	344	1.71
Rata-rata Error (%)			0.80%	-	6.29%

4.4.3 Analisis Hasil Pengujian Sensor

Pengujian dilakukan pada dua skenario volume aktual, yaitu 500 mL dan 350 mL, untuk mengevaluasi akurasi sensor *load cell* dan sensor flowmeter dalam sistem pengisian botol berbasis ESP32. Setiap skenario diuji sebanyak lima kali, dan kesalahan (error) dihitung berdasarkan selisih antara nilai pengukuran sensor terhadap nilai aktual.

Pada pengujian dengan volume 500 mL, sensor *load cell* menunjukkan akurasi yang sangat tinggi. Rata-rata persentase error *load cell* sebesar 0,36%, menandakan bahwa pembacaan berat dari air sangat mendekati nilai aktual.

Sementara itu, sensor flowmeter memiliki rata-rata error yang lebih tinggi, yaitu 9,92%. Nilai error tertinggi pada flowmeter mencapai 18,81%, yang terjadi karena kemungkinan adanya lonjakan aliran pada awal pengisian atau ketidakteraturan putaran baling-baling sensor yang memengaruhi penghitungan pulsa. Karakteristik flowmeter yang mengalami lonjakan pada awal aliran membuatnya kurang cocok untuk proses pengisian botol dalam skala kecil atau volume terbatas. Aliran yang tiba-tiba aktif dan kemudian mati dalam waktu singkat menyebabkan pulsa awal menjadi tidak stabil dan sulit dikoreksi secara real-time.

Sedangkan pada pengujian dengan volume 350 mL, sensor *load cell* kembali menunjukkan performa yang lebih stabil dengan rata-rata error sebesar 0,80%. Nilai ini masih tergolong sangat akurat untuk pengukuran berat. Untuk sensor flowmeter, rata-rata error sebesar 6,29%, lebih rendah dibandingkan pengujian pada 500 mL. Penurunan error ini dapat disebabkan oleh aliran air yang lebih pendek durasinya sehingga menghasilkan pembacaan pulsa yang lebih stabil. Namun, ketidakstabilan awal tetap menjadi kendala pada akurasi, terutama jika volume pengisian relatif kecil.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa sensor *load cell* memiliki akurasi yang lebih tinggi dan konsisten dibandingkan sensor flowmeter dalam kedua skenario pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa metode pengukuran berbasis berat lebih andal untuk sistem pengisian air ke dalam botol dalam proyek kecil. Sementara itu, penggunaan sensor flowmeter masih memerlukan perbaikan lebih lanjut, seperti kalibrasi pulsa yang lebih presisi, penambahan filter atau delay di awal pembacaan untuk meredam lonjakan aliran, serta pengaturan aliran air yang lebih stabil selama proses pengisian. Flowmeter mungkin akan menunjukkan performa yang lebih optimal apabila digunakan dalam sistem pengisian skala besar, dengan aliran air yang tidak sering hidup-mati dan berjalan dalam durasi yang lebih panjang secara kontinyu.