

Perancangan dan Implementasi Sistem Smart-Refill pada Automatic Liquid Filling Machine Berbasis Arduino dengan Integrasi Multisensor Serta EEPROM Resume (Studi Kasus : CV Napo Indonesia Semarang)

Idzaa Piliawan Pribadi*¹, Eddy Nurraharjo²

^{1,2} Universitas Stikubank Semarang

e-mail: *¹ idzaapiliawan123@gmail.com, ² eddynurraharjo@gmail.com

Abstrak

Proses pengisian cairan secara manual pada skala industri kecil dan menengah masih menghadapi berbagai permasalahan, seperti ketidaktepatan volume, tumpahan cairan, ketergantungan pada operator, serta potensi kegagalan proses akibat gangguan listrik atau kekosongan bahan baku. Kondisi tersebut berdampak pada rendahnya efisiensi produksi dan konsistensi kualitas hasil pengisian. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem smart-refill pada automatic liquid filling machine berbasis Arduino yang mampu meningkatkan akurasi, keandalan, dan keselamatan proses pengisian cairan. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) yang meliputi tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, pembuatan prototipe, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian dan evaluasi kinerja sistem. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan load cell untuk validasi massa cairan, flow sensor untuk pengukuran volume aliran, sensor ultrasonik untuk deteksi ketersediaan level cairan di dalam tangki, rain sensor sebagai pendeteksi tumpahan (spill detection), serta sensor kekosongan cairan (emergency liquid-shortage). Selain itu, diterapkan mekanisme resume berbasis EEPROM yang memungkinkan sistem melanjutkan proses pengisian setelah terjadi gangguan daya tanpa kehilangan data pengisian sebelumnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara stabil dan terintegrasi dengan tingkat akurasi pengukuran yang tinggi serta nilai error rate yang rendah pada seluruh sensor yang digunakan. Implementasi safety logic dan mekanisme smart-refill terbukti efektif dalam meminimalkan tumpahan, mencegah pengisian berlebih atau kurang, serta meningkatkan efisiensi waktu dan konsistensi volume pengisian. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan layak diterapkan sebagai solusi otomatisasi pengisian cairan di CV Napo Indonesia Semarang dan berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut pada skala industri yang lebih luas.

Kata kunci— Smart-refill, Automatic Liquid Filling Machine, Arduino, Load Cell, Flow Sensor, Rain Sensor, Ultrasonic Sensor, EEPROM Resume, R&D.

Abstract

The manual filling process in small and medium-scale industries still faces various problems, such as volume inaccuracy, liquid spillage, operator dependency, and potential process failure due to power outages or raw material shortages. These conditions result in low production efficiency and inconsistent filling quality. This study aims to design and implement a smart-refill system on an Arduino-based automatic liquid filling machine that can improve the accuracy, reliability, and safety of the liquid filling process. The research method used was Research and Development (R&D), which included the stages of needs analysis, system design, prototype development, hardware and software implementation, and system performance testing and evaluation. The developed system integrates a load cell for liquid mass validation, a flow sensor for flow volume measurement, an ultrasonic sensor for detecting liquid level availability in the tank, a rain sensor for spill detection, and a liquid shortage sensor (emergency liquid shortage). In addition, an EEPROM-based resume mechanism is implemented, allowing the system to resume the filling process after a power failure without losing the previous filling data. Test results show that the system is able to work stably and be integrated with a high level of measurement accuracy and low error rates across all sensors used. The implementation of safety logic and smart-refill mechanisms has proven effective in minimizing spillage, preventing overfilling or underfilling, and improving time efficiency and filling volume consistency. Therefore, the developed system is suitable for implementation as a liquid filling automation solution at CV Napo Indonesia Semarang and has the potential for further development on a broader industrial scale.

Keywords— Smart-refill, Automatic Liquid Filling Machine, Arduino, Load Cell, Flow Sensor, Rain Sensor, Ultrasonic Sensor, EEPROM Resume, R&D.

1. PENDAHULUAN

Proses pengisian cairan secara manual masih banyak diterapkan pada industri skala kecil dan menengah di Indonesia, termasuk pada lini produksi CV. Napo Indonesia. Metode ini umumnya mengandalkan takaran visual dan kontrol operator, sehingga rentan terhadap ketidaktepatan volume, inkonsistensi hasil, serta kesalahan manusia. Dampak yang ditimbulkan tidak hanya berupa penurunan mutu produk, tetapi juga pemborosan bahan baku dan rendahnya efisiensi operasional, sebagaimana dilaporkan pada berbagai penelitian terkait sistem filling manual.

Seiring meningkatnya tuntutan akurasi dan kualitas produksi, sistem pengisian otomatis menjadi kebutuhan penting. Sistem smart-refill berbasis arduino dengan integrasi multi sensor terbukti mampu meningkatkan presisi volume, mengurangi ketergantungan pada operator, serta menjaga konsistensi proses produksi. Selain itu, otomasi memungkinkan integrasi fitur keselamatan seperti deteksi tumpahan dan kekurangan cairan yang berperan dalam mencegah kerusakan peralatan dan kerugian material.

Namun, mesin filling konvensional yang umum digunakan oleh UMKM masih memiliki keterbatasan, antara lain belum adanya klasifikasi botol otomatis, ketiadaan fitur spill detection, serta tidak tersedianya sistem pengaman terhadap kondisi kekurangan cairan. Kondisi ini menyebabkan risiko overfilling, underfilling, dan kegagalan pengisian masih cukup tinggi.

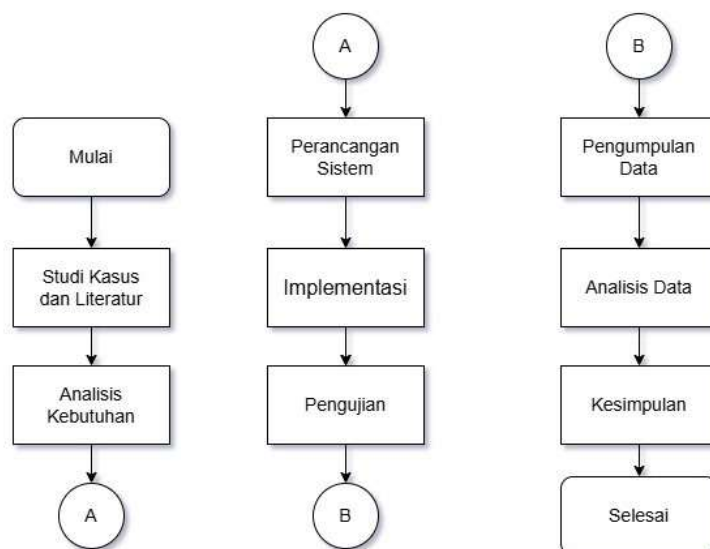
Perkembangan embedded system memungkinkan pemanfaatan mikrokontroler sebagai pusat kendali otomasi yang andal dan ekonomis. Arduino Nano dipilih sebagai platform kendali karena bersifat open-source, mudah diintegrasikan dengan berbagai sensor, memiliki konsumsi daya rendah, serta sesuai untuk aplikasi industri berskala menengah. Integrasi multi-sensor, meliputi load cell, flow sensor, sensor ultrasonik, dan rain drop module, memberikan sistem pengendalian yang lebih presisi dan aman melalui pendekatan redundansi pengukuran.

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem Smart-Refill berbasis Arduino Nano dengan fitur keamanan dan mekanisme resume berbasis EEPROM untuk menjamin kontinuitas operasional. Metode Research and Development (R&D) digunakan dalam proses perancangan hingga pengujian sistem. Hasil penelitian diharapkan dapat meningkatkan akurasi pengisian, keamanan kerja, serta efisiensi produksi pada industri pengolahan cairan, khususnya di CV. Napo Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D), yaitu metode yang bertujuan merancang, membangun, dan menguji sebuah produk (prototipe), pada sistem Smart-Refill Automatic Liquid Filling Machine sehingga menghasilkan solusi teknis yang valid dan dapat diterapkan pada studi kasus CV. Napo Indonesia Semarang.

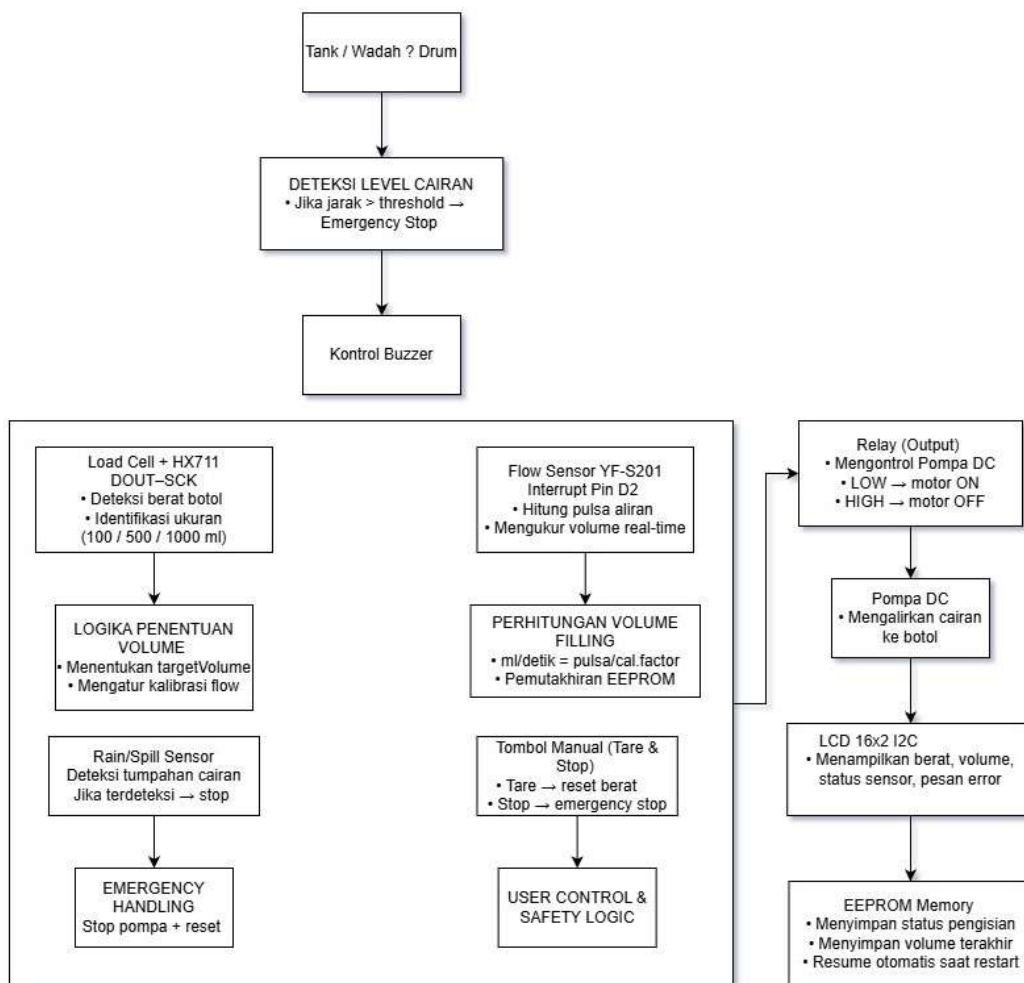


Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

Seperti yang terlihat pada Gambar 1, Penelitian diawali Studi Kasus dan Literatur, pengumpulan referensi dari jurnal, buku, dan studi kasus yang relevan sebagai dasar teori dan acuan penelitian, selanjutnya tahap Analisis Kebutuhan sistem, berdasarkan permasalahan yang ditemukan pada studi kasus. Selanjutnya Perancangan Sistem Penyusunan desain sistem, meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak sesuai kebutuhan yang telah dianalisis. Selanjutnya Implementasi, Penerapan hasil perancangan ke dalam bentuk sistem nyata atau prototipe. Selanjutnya Pengujian, Sistem diuji untuk memastikan fungsi berjalan sesuai dengan perancangan dan kebutuhan yang ditetapkan. Selanjutnya Pengumpulan Data, Data diperoleh dari hasil pengujian sistem sebagai bahan evaluasi. Selanjutnya Analisis Data, Data yang telah dikumpulkan dianalisis untuk menilai kinerja dan efektivitas sistem. Selanjutnya Kesimpulan, Penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis data.

2.2. Perancangan Sistem

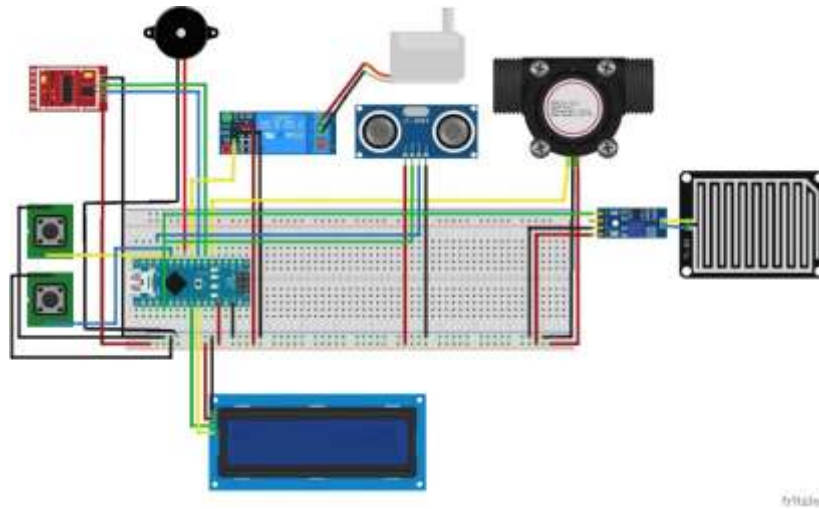
Gambar 2 menunjukkan informasi bahwa sistem terdiri atas load cell dengan modul HX711 untuk pengukuran massa botol dan cairan secara real time, flow sensor untuk memantau laju aliran cairan, sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendeteksi ketinggian cairan pada tangki, serta rain/spill sensor untuk mendeteksi kebocoran atau tumpahan. Aktuator berupa pompa DC dikendalikan melalui relay driver. Informasi status sistem dan proses pengisian ditampilkan pada LCD 16×2 berbasis I2C. Seluruh sistem disuplai oleh catu daya 12 V dan 5 V yang terpisah untuk pompa dan rangkaian kontrol.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

2.3. Perancangan Rangkaian Mikrokontroler

Detail dari rangkaian sistem smart-refill pada automatic liquid filling machine, rangkaian seperti yang terlihat pada Gambar 3 :



Gambar 3. Rancangan Schematic Sistem Smart-Refill

Gambar 3 menunjukkan informasi sebagai berikut :

1. LCD 16×2 I2C dihubungkan ke Arduino Nano melalui pin SDA (A4) dan SCL (A5), dengan catu daya 5V dan ground.
2. Flow sensor YSF-S201 terhubung ke pin D2 sebagai input pulsa aliran menggunakan interrupt.
3. Load cell dengan modul HX711 menggunakan pin D3 (DT) dan D4 (SCK) untuk pembacaan berat.
4. Buzzer dihubungkan ke pin D6 sebagai indikator bunyi.
5. Relay pengendali pompa terhubung ke pin D5 dengan logika aktif LOW untuk keamanan saat sistem dinyalakan.
6. Sensor ultrasonik HC-SR04 menggunakan pin D9 (TRIG) dan D10 (ECHO) untuk mendeteksi ketersediaan cairan, dengan jarak lebih dari 45 cm menandakan cairan habis.
7. Rain drop sensor menggunakan pin analog A1 untuk mendeteksi tumpahan, dengan nilai kurang dari 550 menunjukkan kondisi basah.
8. Sistem dilengkapi dua tombol, yaitu tombol tare pada pin D7 dan tombol berhenti darurat pada pin D8, keduanya terhubung ke ground.

2.4. Perancangan Program Mikrokontroler

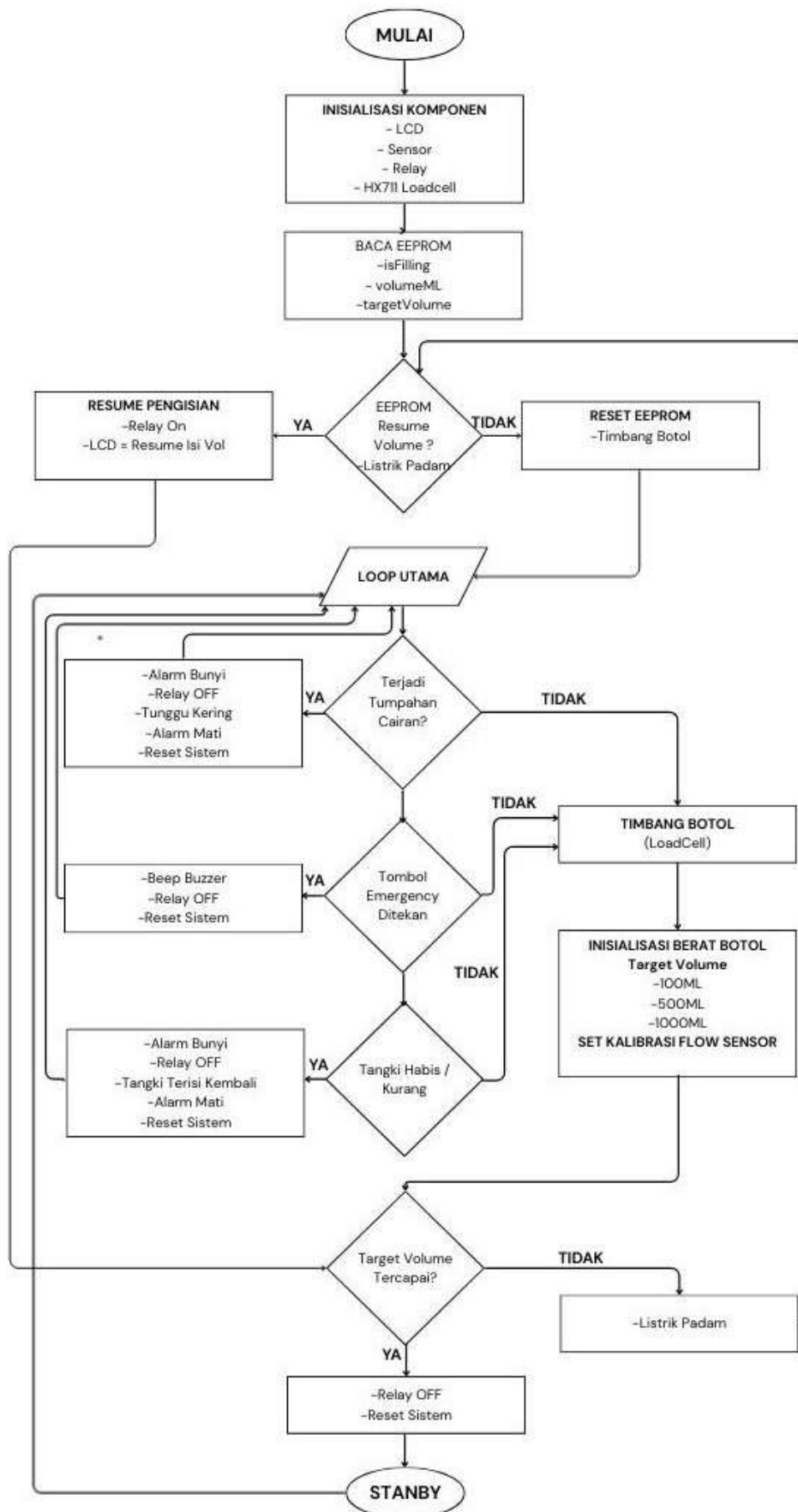
Proses dimulai saat sistem memperoleh catu daya (mulai). Selanjutnya, Arduino melakukan inisialisasi seluruh komponen, meliputi LCD, flow sensor, rain drop sensor, relay, serta modul HX711 load cell untuk memastikan seluruh perangkat siap beroperasi.

Sistem kemudian membaca data EEPROM yang menyimpan status pengisian terakhir (isFilling), volume terakhir, dan target volume. Data ini digunakan untuk menentukan apakah proses sebelumnya terhenti akibat pemadaman listrik. Jika pengisian terhenti, sistem akan melanjutkan proses (resume) dari volume terakhir. Jika tidak, sistem akan menghapus data lama dan melanjutkan ke proses pengisian baru.

Pada loop utama, sistem secara berkelanjutan melakukan pemantauan kondisi keselamatan, meliputi deteksi tumpahan cairan, tombol darurat, dan kondisi tangki. Jika terdeteksi kondisi tidak aman, sistem akan mematikan relay, mengaktifkan alarm, dan melakukan reset untuk mencegah kerusakan atau bahaya.

Selanjutnya, sistem menimbang botol kosong menggunakan load cell, kemudian menentukan target volume pengisian (100 mL, 500 mL, atau 1000 mL). Proses pengisian dimulai dengan mengaktifkan relay dan menghitung volume cairan berdasarkan data flow sensor.

Pengisian akan dihentikan secara otomatis ketika target volume tercapai, relay dimatikan, dan status pengisian direset. Sistem kemudian masuk ke kondisi standby, siap untuk proses pengisian botol berikutnya. Gambar 4 menunjukkan informasi flowchart program sistem smart-refill.



Gambar 4. Flowchart Sistem Smart-Refill

2.5. Analisis Sistem

Analisis sistem dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan kerja, keandalan, serta efektivitas sistem Smart-Refill yang dikembangkan dalam mendukung proses pengisian cairan otomatis pada lingkungan

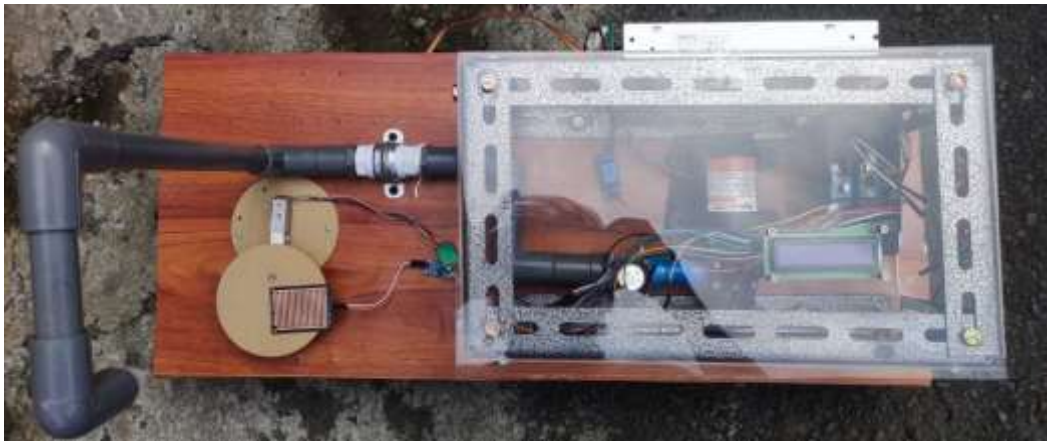
produksi CV. Napo Indonesia Semarang. Sistem ini dirancang sebagai solusi atas permasalahan ketidaktepatan volume, risiko tumpahan cairan, potensi kerusakan pompa akibat kekosongan cairan (dry-run), serta ketidakmampuan mesin konvensional melanjutkan proses setelah gangguan listrik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

3.1.1. Implementasi Perangkat Keras

Berikut adalah hasil implementasi dari sistem yang dirancang. Rangka alat yang digunakan berbahan plat besi agar tetap kokoh apabila mendapat beban yang berat dan dilengkapi dengan papan akrilik untuk keamanan mikrokontroller. Hasil implementasi dapat dilihat pada gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Hasil Perangkat Keras Tampak Atas



Gambar 6. Hasil Perangkat Keras Tampak Depan

3.1.2. Implementasi Perangkat Lunak

Perangkat lunak sistem dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman C pada lingkungan Arduino IDE. Struktur program disusun secara modular untuk meningkatkan keterbacaan dan kemudahan pemeliharaan. Secara umum, program terdiri atas inisialisasi perangkat keras, pembacaan sensor, logika pengambilan keputusan, serta pengendalian aktuator. Tabel 1 menunjukkan informasi pseudocode dengan penjelasan setiap fungsi dan proses pada program sistem smart refill :

<p>INIT: import library (I2C LCD, HX711, EEPROM) set pin: flow sensor, relay, buzzer, raindrop, button tare, button stop, ultrasonic trig/echo set variabel: pulseCount, volumeML, flowRate, calibrationFactor, targetVolume set batas berat botol (kecil/sedang/besar) set timer interval (1 detik) dan interval simpan EEPROM (3 detik)</p> <p>FUNGSI saveToEEPROM: simpan bottleDetected, volumeML, targetVolume ke EEPROM</p> <p>FUNGSI loadFromEEPROM: baca bottleDetected, volumeML, targetVolume dari EEPROM jika bottleDetected == true: relay ON (LOW) → lanjutkan pengisian buzzer beep LCD tampilkan "Resume Isi" dan progress volume/target set timer awal (previousMillis, lastEEPROMMillis)</p> <p>SETUP: start serial init LCD + tampilkan splash screen init HX711 (set_scale, tare) init flow sensor interrupt (countPulse) init relay (default OFF = HIGH) init buzzer init tombol (pullup) init raindrop (analog) init ultrasonic LCD: "Filling Otomatis" + "Timbang Botol..." panggil loadFromEEPROM()</p> <p>FUNGSI readUltrasonic: kirim pulsa TRIG 10 μs baca durasi echo (pulseIn) konversi ke jarak cm = duration * 0.034 / 2</p> <p>LOOP UTAMA: rainValue = readRainSensor() jika rainValue < threshold: handleRainAlarm() return</p>	<p>jika readUltrasonic() > distanceLimit: relay OFF (HIGH) LCD: "Cairan Habis" waitUntilRefilled() resetSystem() return</p> <p>jika readUltrasonic() > distanceLimit: relay OFF (HIGH) LCD: "Cairan Habis" waitUntilRefilled() resetSystem() return</p> <p>berat = scale.get_units(13) LCD tampilkan berat</p> <p>jika bottleDetected == false DAN berat > batasBawahKecil: tentukan targetVolume dan calibrationFactor berdasarkan rentang berat: kecil -> 100 ml sedang -> 500 ml besar -> 1000 ml bottleDetected = true beep reset volumeML, pulseCount set timer previousMillis relay ON (LOW) mulai isi saveToEEPROM()</p> <p>jika bottleDetected == true: tiap 1 detik: flowRate = pulseCount / calibrationFactor mlPerSec = (flowRate / 60) * 1000 volumeML += mlPerSec pulseCount = 0 LCD tampilkan volumeML</p> <p>jika volumeML >= targetVolume: relay OFF (HIGH) LCD: "Selesai Isi" clearEEPROM() resetSystem()</p> <p>delay kecil 200 ms</p>
---	--

Tabel 1. Pseudocode Sistem Smart-Refill

Analisis formula matematis yang terlibat pada tabel 1 pseudocode sistem smart refill :

1. Pengukuran Debit Aliran (Flow Rate)

Sensor aliran menghasilkan pulsa sebanding dengan debit cairan. Debit dihitung setiap interval 1 detik menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{N}{K}$$

Keterangan :

- Q = debit aliran (L/menit)
- N = jumlah pulsa per detik
- K = faktor kalibrasi sensor (pulsa/L)

Nilai K disesuaikan berdasarkan ukuran botol (100 ml, 500 ml, 1000 ml).

2. Perhitungan Volume Cairan

Volume cairan terisi dihitung secara kumulatif dari debit aliran:

$$V = V_{t-1} + \left(\frac{Q}{60} \times 1000 \right)$$

Keterangan :

- V = volume cairan (ml)
- Q = debit aliran (L/menit)
- Faktor 1/60 mengubah menit ke detik
- Faktor 1000 mengubah liter ke milliliter

3. Klasifikasi Ukuran Botol (Berat Awal)

Penentuan target volume berdasarkan berat botol kosong :

$$\text{Target Volume} = \begin{cases} 100 \text{ ml}, & 15 < m \leq 32 \text{ g} \\ 500 \text{ ml}, & 32 < m \leq 60 \text{ g} \\ 1000 \text{ ml}, & m > 60 \text{ g} \end{cases}$$

dengan m = berat botol hasil pembacaan load cell.

4. Deteksi Level Tangki (Ultrasonic Sensor)

Jarak permukaan cairan dihitung menggunakan :

$$d = \frac{t \times v}{2}$$

Keterangan :

- d = jarak (cm)
- t = waktu pantulan gelombang ultrasonik (μ s)
- v = kecepatan suara (0,034 cm/ μ s)

Tangki dinyatakan kosong jika: $d > 45$ cm

5. Kondisi Henti Pengisian

Proses pengisian dihentikan secara otomatis saat :

$$V \geq V_{\text{target}}$$

Relay pompa dimatikan untuk mencegah kelebihan isi.

6. Deteksi Tumpahan

Tumpahan cairan terdeteksi apabila :

$$ADC_{\text{rain}} < 550$$

Sistem akan menghentikan pompa dan mengaktifkan alarm.

7. Analisis Sistem Penyimpanan EEPROM (State Persistence)

EEPROM menyimpan state sistem untuk melanjutkan proses jika listrik mati.

$$S = \{B, V, V_{\text{target}}\}$$

- B = bottleDetected
- V = volumeML
- Vtarget = targetVolume

Interval Penyimpanan :

$$t_{\text{save}} = 3 \text{ detik}$$

Sistem Resume :

$$V_{\text{resume}} = V_{\text{EEPROM}}$$

3.1.3. Pengujian Load Cell

Pengujian load cell dilakukan untuk menilai kemampuan sensor dalam mengidentifikasi tipe botol berdasarkan massa kosongnya. Setiap massa acuan mewakili kategori volume botol 100 mL, 500 mL, dan 1000 mL.

Percobaan	Ukuran Botol	Pembacaan (g)	Selisih Error (g)	Error (%)	Deteksi Volume	Benar/Salah
1	100 ml	14.7	-0.3	2.0	100 mL	Benar
2	100 ml	15.2	+0.2	1.3	100 mL	Benar
3	500 ml	31.6	-0.4	1.25	500 mL	Benar
4	500 ml	32.4	+0.4	1.25	500 mL	Benar
5	1000 ml	59.4	-0.6	1.00	1000 mL	Benar
6	1000 ml	60.5	+0.5	0.83	1000 mL	Benar

Tabel 2. Tabel Pengujian Load Cell

Rumus perhitungan Error Rate Load Cell :

$$\frac{N_{salah}}{N_{total}} \times 100\%$$

Seluruh percobaan, load cell menunjukkan deteksi yang stabil dan konsisten untuk ketiga kategori botol. Error rata-rata berkisar antara 0.83% hingga 1.25%, jauh di bawah toleransi teknis $\pm 2\%$. Performa ini selaras dengan karakteristik load cell berbasis strain gauge berkapasitas rendah yang umum digunakan pada sistem otomasi.

3.1.4. Pengujian Flow Sensor

Pengujian flow sensor dilakukan untuk mengetahui konsistensi hubungan antara jumlah pulsa yang dihasilkan sensor dengan volume cairan yang benar-benar terukur. Pengujian dilakukan pada tiga volume utama yaitu 100 mL, 500 mL, dan 1000 mL.

Percobaan	Pulse Count	Volume Target	Volume Aktual	Error (%)
1	450	100 ml	99.4	0.60
2	451	100 ml	99.6	0.40
3	2251	500 ml	498.2	0.54
4	2255	500 ml	499.1	0.22
5	4520	1000 ml	498.2	0.22
6	4532	1000 ml	499.1	0.10

Tabel 3. Tabel Pengujian Flow Sensor

Rumus perhitungan Error Rate Flow Sensor :

$$\left| \frac{V_{target} - V_{terukur}}{V_{target}} \right| \times 100\%$$

Data menunjukkan bahwa flow sensor memiliki stabilitas tinggi dengan rentang error yang sangat kecil, yaitu 0.22–0.60%, jauh di bawah batas toleransi teknis umum pada sistem filling otomatis yang biasanya berada di angka 1–3%. Seluruh data antarpercobaan juga menunjukkan variasi yang sangat kecil, menandakan bahwa laju aliran pompa, turbulensi fluida, dan respon sensor berada dalam kondisi stabil dan terkendali.

3.1.5. Pengujian Sensor Ultrasonic (Sensor Liquid Shortage)

Pengujian sensor ultrasonik bertujuan untuk mengevaluasi akurasi pendeteksian ketinggian cairan serta reliabilitasnya sebagai komponen emergency liquid-shortage detection dalam sistem Smart-Refill. Jika ketinggian terdeteksi > 45cm alarm bunyi.

Percobaan	Jarak Sensor (cm)	Tinggi Cairan Aktual (cm)	Tinggi Cairan Terdeteksi (cm)	Selisih Error (cm)	Error (%)	Status Alarm
1	36.5	14	13.5	0.5	3.57%	Tidak Bunyi
2	43.2	7	6.8	0.2	2.86%	Tidak Bunyi
3	46.8	4	3.2	0.8	20.00%	Bunyi

4	48.1	2	1.9	0.1	5.00%	Bunyi
---	------	---	-----	-----	-------	-------

Tabel 4. Tabel Pengujian Sensor Ultrasonic (Sensor Liquid Shortage)

Rumus perhitungan Error Rate sensor ultrasonic :

$$\frac{|V_{aktual} - V_{target}|}{V_{target}} \times 100\%$$

Error tertinggi terjadi pada percobaan ke-3 (20%). Hal ini terjadi karena ketinggian cairan sangat rendah (4 cm), sehingga permukaan fluida menjadi lebih dinamis dan kurang optimal dalam memantulkan gelombang.

3.1.6. Pengujian Rain Sensor (Sensor Spill Detection)

Sensor spill detector berfungsi sebagai komponen keselamatan yang mendeteksi adanya tumpahan cairan di sekitar area pengisian.

Percobaan	Kondisi Aktual	Volume Tumpahan (ml)	Output Sensor	Status Alarm	Validitas	Keterangan
1	Kering	0	Tidak Terdeteksi	Tidak Bunyi	Benar	Normal
2	Kering	0	Tidak Terdeteksi	Tidak Bunyi	Benar	Normal
3	Basah	3	Terdeteksi	Bunyi	Benar	Deteksi cepat
4	Basah	4	Terdeteksi	Bunyi	Benar	Konsisten

Tabel 5. Tabel Pengujian Rain Sensor (Sensor Spill Detection)

Rumus perhitungan Error Rate rain sensor :

$$\frac{N_{deteksi\ salah}}{N_{total}} \times 100\%$$

Sensor mampu mengenali seluruh kondisi basah pada rentang volume tumpahan 2–5 ml secara konsisten. Variasi kecil di antara volume tumpahan tidak mempengaruhi sensitivitas sensor, yang menunjukkan bahwa threshold pembacaan ADC telah dikalibrasi dengan baik.

3.1.7. Pengujian EEPROM Resume

Pengujian fitur EEPROM Resume bertujuan untuk menilai kemampuan sistem dalam melanjutkan proses pengisian yang belum selesai setelah terjadi gangguan daya secara tiba-tiba. Mekanisme ini dirancang agar sistem Smart-Refill tetap memenuhi prinsip fault-tolerant control, yakni kemampuan perangkat untuk mempertahankan fungsi dasar meskipun terjadi gangguan.

Percobaan	Volume Target (ml)	Progress Saat Mati Listrik (ml)	Volume Akhir Setelah Resume (ml)	Selisih (ml)	Error Rate (%)
1	100	45	99.4	0.6	0.60
2	500	220	497.8	2.2	0.44
3	1000	540	1004.5	4.5	0.45
4	500	310	503.1	3.1	0.62
5	100	60	100.7	0.7	0.70

Tabel 6. Tabel Pengujian EEPROM Resume

Rumus perhitungan Error Rate rain sensor :

$$\frac{N_{resume\ gagal}}{N_{total\ pemadaman}} \times 100\%$$

Hasil pengujian menunjukkan bahwa fitur EEPROM Resume bekerja dengan sangat stabil pada seluruh percobaan. Error rate yang diperoleh berkisar antara 0.44% sampai 0.70%, Temuan ini mengindikasikan bahwa mekanisme penulisan dan pembacaan EEPROM berjalan konsisten, serta tidak terdapat degradasi data saat listrik dipadamkan.

3.1.8. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai kinerja unit Smart-Refill ketika seluruh komponen saling terintegrasi, yaitu Flow Sensor, Load-Cell, Spill Detector, Emergency Liquid-Shortage Sensor, serta EEPROM Resume sebagai fitur fault-tolerance. Pengujian ini memastikan sistem berfungsi sesuai spesifikasi teknis yang ditetapkan, termasuk akurasi volume, waktu pengisian, stabilitas proses, serta reliabilitas saat beroperasi dalam beberapa siklus pengujian.

Percobaan	Target (ml)	Volume Aktual (ml)	Selisih (ml)	Waktu (s)	Error Rate (%)	Status Reliability
1	100	99.4	0.6	3.8	0.60	Berhasil
2	100	100.5	0.5	3.7	0.50	Berhasil
3	500	497.8	2.2	7.4	0.44	Berhasil
4	500	501.5	1.5	7.3	0.30	Berhasil
5	1000	1004.5	4.5	12.7	0.45	Berhasil
6	1000	998.9	1.1	12.8	0.11	Berhasil

Tabel 7. Pengujian Sistem Keseluruhan

1. Akurasi Volume

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan mengalirkan cairan dengan tingkat akurasi tinggi pada seluruh volume. Error rate berada pada rentang 0.11%–0.60%. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi Flow Sensor dan Load-Cell bekerja saling melengkapi dalam menjaga presisi.

2. Waktu Pengisian

Waktu pengisian mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya volume target, yaitu sekitar :

- 3.7–3.8 detik untuk 100 ml
- 7.3–7.5 detik untuk 500 ml
- 12.7–12.9 detik untuk 1000 ml

Konsistensi waktu ini mengindikasikan bahwa debit pompa stabil dan Flow Sensor tidak mengalami penurunan performa setelah beberapa kali siklus, sesuai karakteristik pompa DC 12V.

3. Reliability Test

Seluruh percobaan mencatat keberhasilan 100%, tanpa terjadinya:

- Kesalahan baca sensor
- Aktivasi alarm palsu
- Pengisian yang terputus
- Ketidak konsistenan volume pada siklus pengujian

Dengan demikian, sistem memenuhi kriteria high-reliability performance, merupakan elemen kunci dalam pengembangan sistem otomasi cairan berbasis mikrokontroler, terutama pada industri kecil dan menengah (IKM).

3.2. Pembahasan

Pengujian load cell menunjukkan kemampuan sensor dalam mengidentifikasi massa botol kosong secara konsisten pada kategori 100 mL, 500 mL, dan 1000 mL. Seluruh percobaan berhasil mengklasifikasikan volume botol dengan benar, dengan nilai error berada pada rentang 0,83%–1,25%, yang masih berada di bawah batas toleransi teknis $\pm 2\%$, sehingga presisi sensor dinilai memadai untuk penentuan jenis botol.

Hasil pengujian flow sensor memperlihatkan hubungan yang stabil antara jumlah pulsa dan volume cairan aktual. Error pengukuran berada pada rentang 0,22%–0,60% dengan variasi antarpercobaan yang kecil, menunjukkan laju aliran pompa yang konstan serta akurasi sensor yang tinggi sebagai pengendali volume pengisian.

Pengujian sensor ultrasonik menunjukkan error pengukuran di bawah 6% pada kondisi ketinggian cairan normal, namun meningkat pada kondisi cairan sangat rendah akibat pantulan gelombang yang tidak stabil. Meskipun demikian, sistem alarm tetap aktif sesuai ambang batas, sehingga fungsi keselamatan tetap terjaga.

Rain sensor berhasil mendeteksi seluruh kondisi basah tanpa kesalahan deteksi dan tidak menunjukkan aktivasi palsu pada kondisi kering. Hal ini menandakan bahwa ambang sensitivitas sensor telah disesuaikan dengan baik untuk mendukung aspek keselamatan proses pengisian.

Pengujian fitur EEPROM Resume menunjukkan error rate berkisar antara 0,44%–0,70%, dengan selisih volume yang relatif kecil setelah pemadaman listrik. Hasil ini mengindikasikan bahwa mekanisme penyimpanan dan pemanggilan data berjalan stabil serta mampu menjaga integritas data.

Secara keseluruhan, sistem Smart-Refill bekerja secara terintegrasi dengan baik dengan error volume pengisian berada pada rentang 0,11%–0,60% dan tingkat keberhasilan 100% pada seluruh percobaan. Waktu pengisian meningkat secara proporsional terhadap volume target dan konsisten antar siklus, sehingga sistem memenuhi kriteria akurasi dan reliabilitas untuk aplikasi otomasi pengisian cairan skala kecil hingga menengah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem Smart-Refill pada Automatic Liquid Filling Machine berbasis Arduino Nano berhasil dikembangkan dan berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Integrasi multi-sensor yang meliputi load cell, flow sensor, sensor ultrasonik, dan rain sensor mampu membentuk sistem pengisian cairan yang presisi, aman, serta andal untuk diaplikasikan pada lingkungan industri kecil dan menengah.

Load cell yang digunakan berfungsi efektif dalam mengidentifikasi berat awal botol sebagai dasar penentuan target volume pengisian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan berat awal berada dalam rentang error yang rendah dan konsisten, sehingga sistem dapat mengklasifikasikan ukuran botol secara otomatis tanpa kesalahan deteksi. Pendekatan ini terbukti mampu mengurangi ketergantungan terhadap pengaturan manual dan meningkatkan konsistensi proses pengisian.

Flow sensor berperan sebagai komponen utama dalam pengendalian volume cairan yang dialirkan. Berdasarkan pengujian, sensor ini mampu menghasilkan akurasi pengisian yang tinggi dengan nilai error yang relatif kecil pada seluruh variasi volume. Hal tersebut menunjukkan bahwa metode penghitungan volume berbasis pulsa aliran secara real-time lebih stabil dibandingkan metode konvensional yang hanya mengandalkan waktu pengisian atau takaran visual.

Implementasi sensor ultrasonik sebagai sistem emergency liquid-shortage terbukti efektif dalam mendeteksi kondisi kekosongan cairan pada tangki. Sistem mampu menghentikan pompa secara otomatis ketika level cairan berada di bawah batas aman, sehingga dapat mencegah kerusakan pompa akibat kondisi dry-run. Selain itu, rain sensor sebagai spill detection bekerja dengan respons cepat dalam mendeteksi tumpahan cairan dan menghentikan proses pengisian, sehingga meningkatkan aspek keselamatan kerja dan perlindungan perangkat elektronik.

Fitur EEPROM Resume menjadi keunggulan utama sistem yang dikembangkan, karena memungkinkan proses pengisian dilanjutkan setelah terjadi gangguan listrik tanpa kehilangan data volume sebelumnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mekanisme penyimpanan dan pemulihan data berjalan stabil dan konsisten, sehingga sistem memiliki karakteristik fault-tolerant yang penting dalam operasional industri skala kecil yang rentan terhadap ketidakstabilan pasokan listrik.

Secara keseluruhan, hasil pengujian sistem terintegrasi menunjukkan bahwa Smart-Refill Automatic Liquid Filling Machine memiliki tingkat akurasi tinggi, waktu pengisian yang konsisten, serta keandalan operasi yang baik pada seluruh siklus pengujian. Dengan demikian, sistem ini dinilai layak untuk diterapkan sebagai solusi otomasi pengisian cairan di CV Napo Indonesia Semarang dan berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk skala industri yang lebih luas dengan penambahan fitur monitoring dan kontrol lanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmad Syarif, Harianto, & Puspasari, I. (2021). Rancang bangun automatic liquid filling machine berbasis IoT (Internet of Things). *Jurnal Teknologi Informasi*, 3(1). <https://doi.org/10.37802/JOTI.V3I1.178>
- [2] Devira Ramady, G., Rahman, D. H., & Mahardika, A. G. (2020). Perancangan model alat pengisian minyak goreng otomatis berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknologi Informasi*. https://www.academia.edu/69808786/Perancangan_Model_Alut_Pengisian_Minyak_Goreng_Otomatis_Berbasis_Internet_of_Things
- [3] Hakim, M. (2023). Dispenser otomatis menggunakan sensor ultrasonik berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknimedia*, 4(1). <https://doi.org/10.46764/teknimedia.v4i1.103>
- [4] Kurniandisyah, P., Safii, M., Damanik, B. E., & Kolega. (2021). Pengendali air wudhu otomatis menggunakan sensor ultrasonik berbasis Arduino. *Jurnal Teknologi dan Sistem*, 2(1).

- [5] Pangestu, E. A., Rifky, R., & Agusman, D. (2020). Perancangan model mesin filling cairan. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(1). <https://doi.org/10.22236/TEKNOKA.V5I1.373>
- [6] Prasetyo, B., Simatupang, J. W., Galina, M., & Kolega. (2022). Prototipe mesin penjual air mineral otomatis berbasis Arduino Mega 2560 dan RFID-RC522. *Elkomika*, 10(2). <https://doi.org/10.26760/elkomika.v10i2.484>
- [7] Syarifuddin, A., & Kolega. (2023). Perancangan vending machine untuk depot air isi ulang berbasis Arduino. *Jurnal Elektronika*, 4(1). <https://doi.org/10.54463/je.v4i1.77>
- [8] Wahyu Fajar, & Kolega. (2023). Pembuatan alat pengendali filling water untuk UMKM berbasis Arduino Nano. *Jurnal Teknik Energi*, 11(2). <https://doi.org/10.35313/energi.v11i2.3897>
- [9] Dharmawan, E. A., & Pical, M. (2022). Perancangan vending machine untuk depot air isi ulang berbasis Arduino. *Jurnal Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ambon*.
- [10] Pangestu, P., Aribowo, D., & Hamid, M. A. (2024). Sistem auto filling machine berbasis mikrokontroler human machine interface dengan water flow sensor. *Intecom: Journal of Information Technology and Computer Science*
- [11] Paryanto, P., Laksana, P. I., Rusnaldy, R., & Andriani, D. (2022). Design of an automatic drinking water filling system using an IoT based microcontroller for SME. *Jurnal Litbang Industri*.
- [12] Bastarwan, J., Patma, T. S., & Radianto, D. (2022). Implementasi flow sensor pada alat pengisi mase otomatis ke dalam cetakan keramik. *Elkolind: Jurnal Elektronika Otomasi Industri*.
- [13] Dharmawan, E. A., & Pical, M. (2022). Perancangan vending machine untuk depot air isi ulang berbasis Arduino. *Jurnal Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ambon*.
- [14] Fadlila, M. I., Iqbal, M., & Iqbal, M. (2023). Rancang bangun pengisian bahan bakar menggunakan sensor waterflow dan monitoring penjualan berbasis Arduino dan Delphi. *Jurnal Elektro Kontrol*.
- [15] Hasanah, H. (2022). Automatisasi pompa irigasi pada sistem irigasi tetes berbasis mikrokontroler Arduino Uno. *ARZUSIN: Jurnal Teknik dan Sains*.
- [16] Prasetyo, S. A., Yustiana, I., & Fergina, A. (2023). Rancang bangun automatic liquid filling machine berbasis Internet of Things menggunakan NodeMCU dan Telegram. *Circuit: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*.
- [17] Prasojo, I., Maselena, A., Tanane, O., & Rachman, R. (2020). Design of automatic watering system based on Arduino. *Jurnal Riset Komputer*.
- [18] Rahmatullah, A. S., Harianto, & Puspasari, I. (2023). Rancang bangun automatic liquid filling machine berbasis IoT (Internet of Things). *Jurnal Teknik Komputer – Universitas Dinamika*.
- [19] Rizal, M., Melkias, A. A., & Mursanto, W. B. (2023). Pembuatan alat pengendali filling water untuk UMKM berbasis Arduino Nano. *Jurnal Teknik Energi*.
- [20] Supriyanto, H. (2021). Analisis kontrol aliran fluida berviskositas tinggi dengan sensor flow YF-S201 pada otomatisasi dispenser minyak goreng. *Jurnal Teknologi Terapan*.