

Pembuatan Sistem Pengisian Air Berbasis PLC pada Konveyor Dengan Analisis Sinkronisasi Timer

Sri Hartanto^{1*}, Supyan Sauri², Slamet Purwo Santosa³

^{1,2,3}Teknik Elektro, Universitas Krisnadwipayana, Jakarta

Received: 22-01-2026

Accepted: 31-03-2026

Keywords:

PLC;

Konveyor;

Kontrol;

Fluida.

Correspondent Email:

sihartanto@unkris.ac.id

Abstrak. Dalam sistem produksi modern, proses pengisian air pada wadah yang bergerak di atas konveyor memerlukan ketepatan waktu dan volume agar menghasilkan produk yang seragam. Pengontrolan manual sering kali menyebabkan ketidaktepatan pengisian dan pemborosan bahan. Oleh karena itu, diperlukan sistem otomatis yang mampu mengatur proses pengisian dengan presisi tinggi. Penelitian ini bertujuan merancang serta menganalisis kinerja sistem pengisian air pada gelas yang berjalan di konveyor berbasis Programmable Logic Controller (PLC). Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimen dengan variasi waktu pengisian dan kecepatan konveyor. Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan linear antara waktu pengisian dan volume air dengan debit rata-rata sekitar 40,6 ml/detik. Pengujian repeatability menunjukkan deviasi pengisian rendah (<2%), yang menandakan stabilitas sistem yang baik. Hasil ini menunjukkan bahwa sinkronisasi antara timer dan sensor posisi menjadi faktor utama dalam menjaga konsistensi volume serta meminimalkan potensi tumpahan pada perubahan kecepatan konveyor. Penelitian ini memberikan kontribusi berupa model kuantitatif sederhana yang dapat digunakan sebagai dasar perancangan sistem pengisian cairan otomatis berbasis PLC pada skala pendidikan dan industri kecil.

Abstract. In modern production systems, the process of filling water into containers moving on a conveyor requires precision in timing and volume to produce uniform products. Manual control often leads to inaccuracies in filling and material waste. Therefore, an automatic system capable of regulating the filling process with high precision is needed. This research aims to design and analyze the performance of a glass water filling system on a conveyor based on a Programmable Logic Controller (PLC). The research method uses an experimental approach with variations in filling time and conveyor speed. The research results show a linear relationship between filling time and water volume with an average flow rate of approximately 40.6 ml/second. Repeatability testing shows low filling deviation (<2%), indicating good system stability. These results indicate that the synchronization between the timer and the position sensor is the main factor in maintaining volume consistency and minimizing the potential for spills during conveyor speed changes. This research contributes a simple quantitative model that can be used as a basis for designing PLC-based automatic liquid filling systems at the educational and small industrial scale.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomatisasi pada era industri modern telah mendorong transformasi signifikan dalam sistem produksi, khususnya pada proses yang menuntut

konsistensi dan presisi tinggi seperti pengisian cairan. Industri minuman, kimia, farmasi, dan produk rumah tangga memerlukan sistem pengisian yang mampu menjaga keseragaman volume dalam kondisi produksi berkelanjutan.

Ketidaktepatan pengisian tidak hanya menyebabkan pemborosan bahan, tetapi juga berdampak pada kualitas produk, kepatuhan terhadap standar, serta efisiensi operasional secara keseluruhan [1]. Oleh karena itu, penerapan sistem kontrol otomatis menjadi elemen penting dalam meningkatkan stabilitas proses dan mengurangi ketergantungan pada operator manusia. Meskipun teknologi pengisian otomatis telah banyak diterapkan, praktik di industri kecil dan menengah menunjukkan bahwa proses pengisian cairan masih sering dilakukan secara manual atau semi-otomatis [2]. Selain itu, sistem manual sulit menjaga koordinasi antara pergerakan wadah pada konveyor dan proses pengisian, terutama pada proses produksi berkelanjutan dengan kecepatan yang berubah-ubah [3]. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan sistem yang mampu menjaga sinkronisasi proses secara konsisten.

Penelitian terdahulu mengenai sistem pengisian cairan otomatis umumnya berfokus pada implementasi perangkat menggunakan sistem kontrol sederhana dengan sensor level atau *timer* tetap. Operator umumnya mengontrol katup berdasarkan estimasi waktu, sehingga hasil pengisian sangat dipengaruhi oleh kecepatan reaksi manusia, kelelahan, serta variasi kondisi kerja [4]. Ketergantungan terhadap operator menyebabkan variabilitas volume, menurunkan *repeatability*, dan berpotensi menimbulkan pemborosan bahan produksi [5].

Beberapa sistem pengisian otomatis yang ada masih menggunakan sensor sederhana dan pengontrol berbasis mikrokontroler [6]. Pendekatan tersebut berhasil meningkatkan otomatisasi dasar, namun masih memiliki keterbatasan pada aspek koordinasi dinamis antara posisi wadah, waktu pengisian, dan variasi kecepatan konveyor. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa perubahan kecil pada kecepatan konveyor dapat menyebabkan deviasi volume pengisian yang signifikan karena parameter waktu tidak menyesuaikan secara adaptif [7]. Selain itu, sebagian penelitian masih menitikberatkan pada deskripsi implementasi perangkat, sehingga kontribusi analitis terkait model hubungan parameter kontrol dan hasil pengisian belum dibahas secara mendalam [8]. *Programmable Logic Controller* (PLC) merupakan pengontrol

industri yang dirancang untuk menangani proses dengan kebutuhan keandalan dan respons waktu nyata [9]. Dibandingkan dengan mikrokontroler umum, PLC memiliki kemampuan pengolahan logika deterministik, stabilitas terhadap gangguan lingkungan, serta fleksibilitas integrasi dengan berbagai sensor dan aktuator [10]. PLC juga dapat berfungsi sebagai pusat koordinasi antara sensor posisi gelas dan waktu pengisian, memastikan air mengalir hanya ketika gelas berada tepat di bawah katup pengisian [11].

Integrasi PLC dengan konveyor memungkinkan pengembangan sistem pengisian yang bersifat sinkron dan adaptif. Konveyor berfungsi sebagai mekanisme transportasi kontinu, sedangkan PLC bertindak sebagai pusat koordinasi yang mengatur kapan katup dibuka dan ditutup berdasarkan posisi wadah [12]. Pada kondisi produksi nyata, kecepatan konveyor dapat berubah akibat beban, kondisi mekanik, atau pengaturan proses, sehingga waktu pengisian tidak dapat dianggap konstan [13]. Variasi ini secara langsung memengaruhi debit efektif yang masuk ke wadah. Oleh karena itu, pemahaman hubungan matematis antara waktu pengisian dan volume menjadi penting untuk menjaga konsistensi hasil. [14].

Secara konseptual, volume pengisian dapat dinyatakan sebagai fungsi dari debit dan waktu, yaitu:

$$V = Q \times t \quad (1)$$

dengan V adalah volume cairan, Q debit efektif, dan t waktu pengisian [15]. Namun dalam sistem nyata, debit tidak selalu konstan karena dipengaruhi oleh tekanan, respon katup, karakteristik aliran, dan kondisi lingkungan. Akibatnya, hubungan antara waktu dan volume cenderung menunjukkan deviasi yang merepresentasikan toleransi sistem. Analisis terhadap deviasi ini penting untuk menilai *repeatability* dan stabilitas pengisian, tetapi masih jarang menjadi fokus utama penelitian implementatif [16].

Selain faktor kontrol waktu, stabilitas sistem pengisian juga dipengaruhi oleh toleransi mekanik, *delay* aktuator, variasi debit, serta gangguan lingkungan seperti perubahan tekanan air atau fluktuasi tegangan listrik [17]. Faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan

perbedaan antara volume teoritis dan volume aktual. Oleh karena itu, evaluasi kinerja sistem perlu mempertimbangkan variasi parameter dan tidak hanya membandingkan hasil rata-rata. Pendekatan ini memungkinkan penilaian yang lebih ilmiah terhadap akurasi sistem.

Berdasarkan tinjauan tersebut, *research gap* penelitian ini terletak pada keterbatasan analisis kuantitatif hubungan antara waktu pengisian, kecepatan konveyor, dan volume cairan dalam sistem pengisian berbasis PLC. Penelitian sebelumnya cenderung mengevaluasi kinerja secara deskriptif atau melalui perbandingan langsung antar parameter tanpa merumuskan model yang menjelaskan perilaku sistem. Selain itu, pembahasan mengenai toleransi sistem, variasi debit, respon aktuator, serta pengaruh dinamika konveyor terhadap stabilitas pengisian masih relatif terbatas. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya pendekatan penelitian yang tidak hanya berfokus pada rancang bangun, tetapi juga pada analisis sistem kontrol dan karakteristik kinerjanya.

Penelitian sistem pengisian cairan otomatis berbasis PLC telah banyak dilakukan, namun sebagian besar masih menempatkan kontribusi pada aspek rancang bangun dan validasi fungsional. Kajian yang secara eksplisit menganalisis sinkronisasi parameter waktu, posisi wadah, dan dinamika konveyor terhadap stabilitas volume pengisian masih terbatas, terutama dalam bentuk model kuantitatif sederhana yang dapat digunakan sebagai dasar penentuan parameter kontrol. Selain itu, faktor toleransi sistem, variasi debit efektif, dan *repeatability* pengisian belum banyak diintegrasikan dalam evaluasi kinerja. Keterbatasan ini menyebabkan belum tersedianya kerangka analitis yang menjelaskan perilaku sistem pengisian dalam kondisi operasi dinamis. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut melalui analisis kuantitatif hubungan waktu pengisian dan volume dengan menekankan sinkronisasi *timer* dan sensor posisi sebagai mekanisme utama stabilitas sistem.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi rancang bangun sistem pengisian berbasis PLC dengan analisis kuantitatif sinkronisasi parameter kontrol yang memengaruhi konsistensi volume. Penelitian ini tidak hanya menunjukkan implementasi

sistem, tetapi mengkaji hubungan matematis waktu pengisian dan volume sebagai representasi debit efektif serta mengevaluasi *repeatability* sebagai indikator stabilitas sistem. Pendekatan ini memperluas penelitian sebelumnya yang cenderung bersifat implementatif dengan menghadirkan kerangka analitis sederhana untuk menilai toleransi sistem, pengaruh variasi kecepatan konveyor, dan stabilitas pengisian. Hasil penelitian memberikan kontribusi berupa model evaluasi parameter pengisian yang dapat digunakan sebagai referensi dalam perancangan sistem pengisian otomatis yang lebih presisi dan adaptif.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Programmable Logic Controller (PLC) atau Pengontrol Logika Terprogram merupakan suatu perangkat pengontrol yang dapat menjalankan berbagai proses atau operasi suatu sistem [18]. PLC berfungsi untuk

1. Menghasilkan sinyal keluaran berdasarkan perhitungan program untuk mengendalikan peralatan.
2. Menerima masukan dari berbagai sensor (jalur balik).
3. Melakukan komputasi sinyal dari sensor sesuai dengan program yang telah ditentukan [19].

Konveyor atau ban berjalan merupakan suatu sistem mekanik yang berfungsi untuk memindahkan barang dari satu lokasi ke lokasi lainnya [20]. Di sektor industri, konveyor sering digunakan untuk mengangkut barang dalam jumlah besar dan secara terus-menerus [21]. Konveyor dapat membawa barang dalam jumlah besar dan dengan aliran yang konstan dari satu titik ke titik lain. [22].

Motor DC merupakan jenis motor listrik yang membutuhkan pasokan arus searah di kumparan medan untuk diubah menjadi energi gerak mekanik. Kumparan medan dalam motor DC dikenal sebagai stator (bagian yang tetap) sedangkan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang bergerak). Motor DC ini juga dikenal sebagai motor arus searah [23]. Motor DC beroperasi berdasarkan prinsip gaya Lorentz, dimana suatu konduktor yang dialiri arus ditempatkan dalam medan magnet, maka suatu gaya (disebut gaya Lorentz) akan muncul secara tegak lurus antara arah medan magnet dan arah arus [24].

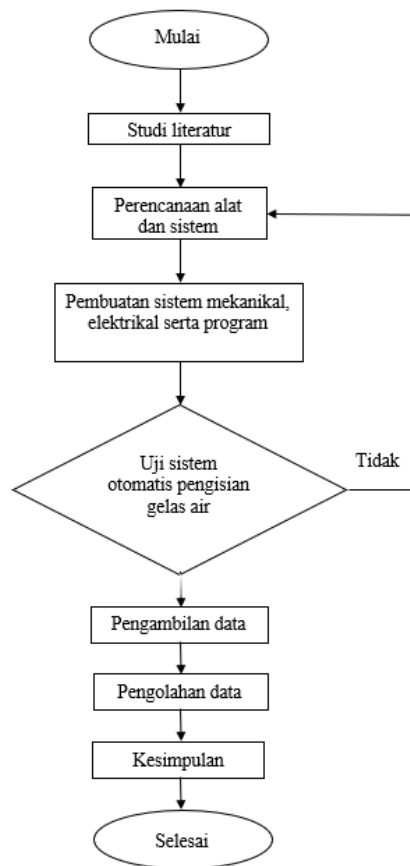
Miniature Circuit Breaker (MCB) atau Pemutus Sirkuit Mini adalah peranti elektromekanikal yang bertugas melindungi rangkaian listrik dari arus yang berlebihan. Dengan kata lain, MCB mampu memutuskan aliran listrik secara otomatis ketika arus yang mengalir melebihi batas yang telah ditentukan[25]. Mesin pompa air adalah perangkat yang dipakai untuk mengalihkan cairan atau fluida dari satu lokasi ke lokasi lain melalui saluran pipa dengan memanfaatkan tenaga listrik untuk mendorong air yang dialihkan secara berkelanjutan [26]. *Pulse Width Modulation* (PWM) adalah metode untuk mengubah lebar sinyal yang ditunjukkan dalam bentuk pulsa selama suatu periode, sehingga dapat menghasilkan rata-rata tegangan yang bervariasi [27].

Sensor *proximity* adalah alat yang berfungsi untuk mengenali suatu benda berdasarkan jarak benda tersebut dari sensor. Sensor ini mampu mengidentifikasi objek yang berada cukup dekat, biasanya antara 1 mm hingga beberapa sentimeter dari perangkat. [28]. Sumber daya listrik adalah suatu alat atau sistem yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi bentuk yang sesuai untuk digunakan oleh perangkat elektronik atau sistem lainnya. Penyearah adalah salah satu bagian yang sangat penting dalam sumber daya listrik yang berfungsi untuk mengonversi arus bolak-balik menjadi arus searah [29].

3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini digambarkan pada bagan alir dalam Gambar 1 berikut. Metode penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan variasi parameter kontrol, khususnya waktu pengisian dan kecepatan konveyor yang diatur melalui PWM. Pengujian dilakukan untuk mengamati perubahan volume, menghitung deviasi pengisian, serta mengevaluasi konsistensi sistem pada kondisi operasi yang berbeda. Analisis difokuskan pada karakteristik linearitas hubungan waktu-volume, toleransi sistem, dan kemampuan sinkronisasi kontrol dalam mempertahankan stabilitas hasil. Bagan alir yang disajikan merupakan gambaran metode penelitian untuk membuat dan menguji suatu sistem otomatis pengisian gelas air yang dikontrol menggunakan PLC. Penelitian ini dimulai dengan Studi Literatur, untuk membuat

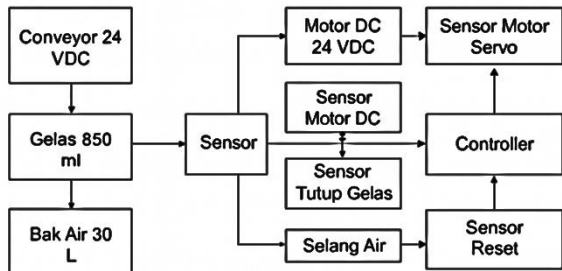
landasan teoretis dan teknis seluruh penelitian. Dalam fase ini, peneliti mengumpulkan dan mengkaji berbagai referensi terkait komponen mekanik, perancangan sistem kontrol, sensor yang relevan, serta algoritma pemrograman yang diperlukan untuk otomatisasi pengisian cairan. Proses ini memastikan bahwa solusi yang akan dikembangkan didasarkan pada pengetahuan dan teknologi terkini serta meminimalisasi kesalahan perancangan yang mungkin terjadi. Hasil dari studi literatur akan menjadi panduan utama dalam menentukan spesifikasi teknis yang akan digunakan dalam tahap perancangan selanjutnya.



Gambar 1. Bagan Alir Metode Penelitian

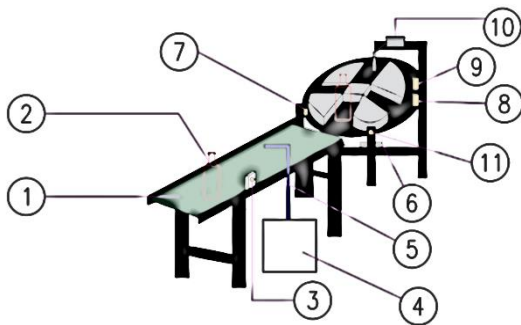
Penelitian dilanjutkan ke tahap Perencanaan Alat dan Sistem, yang merupakan inti perancangan teknis. Tahap ini dapat digambarkan ke dalam Blok Diagram pada Gambar 2 berikut yang mencakup penentuan spesifikasi rinci untuk setiap komponen yang akan digunakan, seperti misalnya jenis motor, sensor tingkat air, katup solenoid, dan PLC yang menjadi pengontrol sistem. Perancangan

ini juga mencakup pembuatan skema rangkaian elektronik dan perancangan mekanik alat, termasuk tata letak fisik tempat pengisian dan jalur air. Aspek keamanan dan ergonomi sistem juga dipertimbangkan agar alat yang dibuat aman dan mudah dioperasikan.



Gambar 2. Blok Diagram

Tahap berikutnya adalah Pembuatan Sistem Mekanikal, Elektrikal, serta Program, yang merupakan realisasi fisik semua rencana yang telah dibuat. Pembuatan sistem mekanikal sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 3 berikut mencakup perakitan kerangka alat, pemasangan aktuator, dan penataan komponen fisik agar berfungsi sesuai perancangan yang diinginkan.

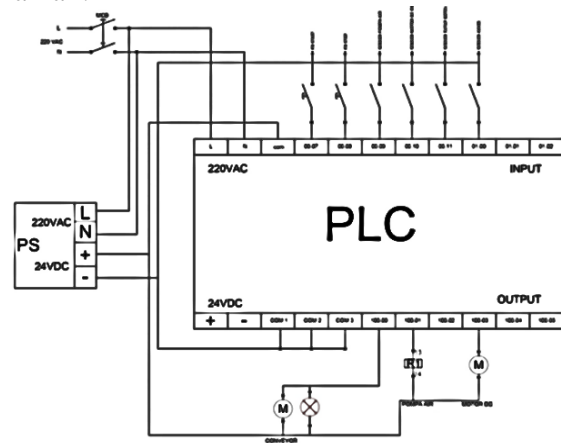


Gambar 3. Sistem Mekanikal

Keterangan:

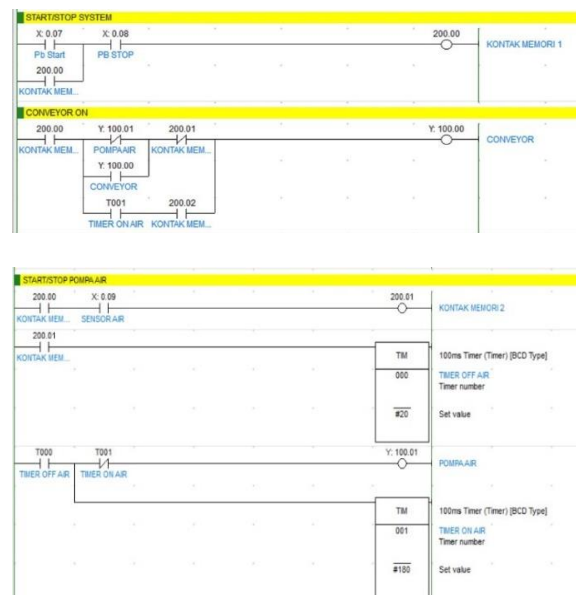
- 1 = Conveyor 24 VDC
- 2 = Gelas 650 ml
- 3 = Sensor Air
- 4 = Bak Air 30 l
- 5 = Selang Air
- 6 = Motor DC 24 VDC
- 7 = Sensor Motor DC
- 8 = Sensor Motor Servo
- 9 = Sensor Tutup Gelas
- 10 = Motor Servo 5 V
- 11 = Sensor Reset

Pembuatan sistem elektrikal sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 4 berikut mencakup penyolderan, pengkabelan sensor dan aktuator ke PLC, serta memastikan pemasok daya berfungsi dengan stabil dan aman.



Gambar 4. Sistem Elektrikal

Sementara itu, pembuatan program adalah proses pembuatan *ladder diagram* serta penulisan kode sumber yang akan mengontrol logika sistem, seperti mendeteksi gelas, mengaktifkan katup pengisian, dan mematikan katup ketika tingkat air yang diinginkan tercapai. Ladder diagram PLC diperlihatkan pada Gambar 5 berikut.

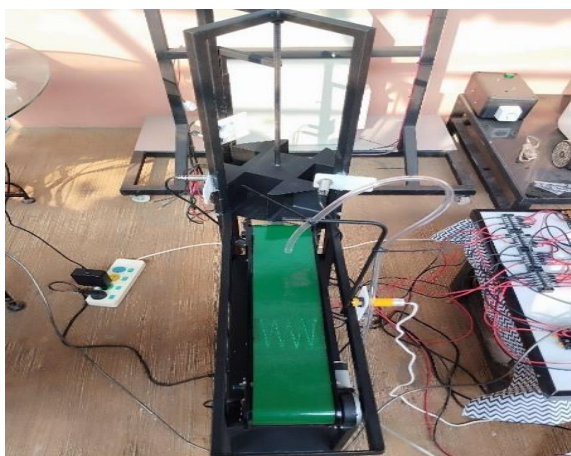


Gambar 5. Ladder Diagram PLC

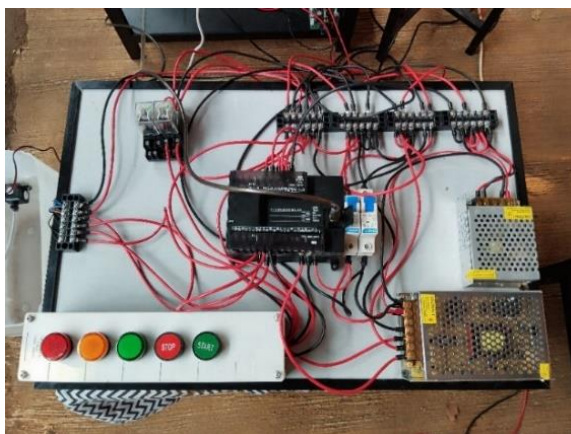
Ketiga sub-sistem ini harus disatukan dan diuji coba secara terpisah sebelum digabungkan menjadi satu kesatuan sistem otomatis. Proses

ini sering kali memerlukan beberapa kali penyesuaian (*debugging*) pada setiap komponen untuk mengatasi masalah kompatibilitas atau kinerja awal.

Setelah alat selesai dibuat dan program terinstalasi seperti terlihat pada Gambar-Gambar 6 dan 7 berikut, tahap berikutnya adalah Uji Sistem Otomatis Pengisian Gelas Air yang bertujuan untuk memverifikasi fungsionalitas dan kinerja sistem. Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah alat dapat mengisi gelas air secara otomatis sesuai dengan kriteria yang ditetapkan, misalnya volume yang tepat, kecepatan pengisian, dan keakuratan sensor. Jika hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem Tidak berfungsi dengan baik atau kinerjanya belum optimal, maka proses penelitian akan berbalik arah (*looping*) kembali ke tahap Perencanaan Alat dan Sistem untuk dilakukan perbaikan rancangan.



Gambar 6. Sistem Mekanik Pengisian Air ke Dalam Gelas



Gambar 7. Sistem Elektrik Pengisian Air ke Dalam Gelas

Pengambilan data mencakup pencatatan hasil kinerja sistem secara kuantitatif, seperti waktu pengisian, deviasi volume air yang diisi, tingkat akurasi sensor, dan konsumsi daya. Data yang terkumpul ini kemudian dianalisis untuk menghitung parameter kinerja, membuat grafik, dan membandingkan hasil aktual dengan target perencanaan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian didasarkan pada berbagai pengukuran yang dilakukan dan dicantumkan dalam tabel-tabel, sebagai berikut:

4.1. Pengujian Timer Pengisian Air

Pengujian yang ditampilkan dalam Tabel 1 berikut ini dilakukan untuk mengetahui lama waktu yang dibutuhkan untuk pengisian air sehingga mencapai batas maksimal volume air pada gelas.

Tabel 1. Hasil Pengujian Program Timer Pengisian Air

Percobaan ke-n	Timer setting PLC (detik)	Banyaknya air yang terisi ke dalam gelas (ml)	Posisi jatuhnya air ke gelas
1	3,2 detik	130 ml	Tepat
2	6,4 detik	260 ml	Tepat
3	9,6 detik	390 ml	Tepat
4	12,8 detik	520 ml	Tepat
5	16,0 detik	650 ml	Tepat

Tabel 1 menyajikan hasil pengujian sistem pengisian air berbasis PLC dengan variasi waktu buka katup yang diatur melalui *timer*. Pengujian dilakukan untuk menganalisis hubungan kuantitatif antara waktu pengisian dan volume cairan sebagai dasar penentuan parameter kontrol sistem. Berbeda dengan pendekatan implementatif yang hanya memverifikasi fungsi sistem, pengujian ini difokuskan pada identifikasi karakteristik hubungan parameter kontrol terhadap hasil pengisian. Data menunjukkan adanya hubungan linear yang konsisten antara waktu pengisian dan volume air. Peningkatan waktu sebesar 3,2 detik menghasilkan kenaikan volume sekitar

130 ml pada setiap percobaan. Secara matematis, hubungan ini dapat direpresentasikan menggunakan rumus dasar volume pengisian

$$V = Q \times t$$

di mana V merupakan volume cairan, t waktu pengisian, dan Q debit efektif sistem. Berdasarkan data Tabel 1, debit efektif rata-rata sistem dapat diestimasi, yaitu:

$$Q = \frac{650}{16} = 40,6 \text{ ml/s}$$

Meskipun hubungan yang diperoleh menunjukkan linearitas tinggi, interpretasi hasil tidak hanya berhenti pada kesesuaian nilai *timer* dan volume. Linearitas tersebut mengindikasikan bahwa sinkronisasi antara sensor posisi, respon katup, dan pergerakan konveyor berada dalam kondisi stabil selama pengujian. Hal ini penting karena pada sistem nyata debit efektif dapat berubah akibat variasi tekanan, delay aktuator, maupun dinamika mekanik konveyor.

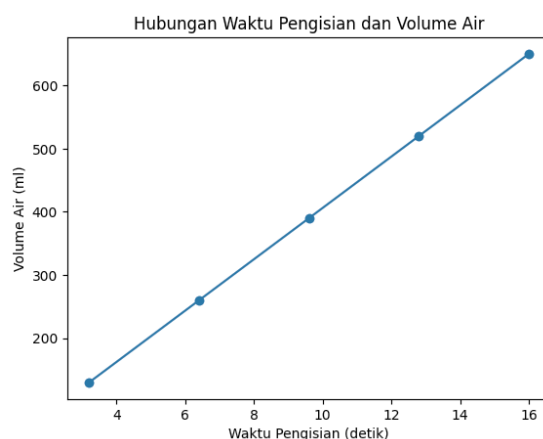
Hasil “tepat” pada kolom posisi jatuhnya air menunjukkan bahwa sinkronisasi spasial antara nozzle pengisian dan posisi gelas berhasil dipertahankan. Namun demikian, akurasi posisi tidak serta-merta menjamin kestabilan volume pada kondisi operasi yang lebih dinamis. Oleh karena itu, hasil ini diinterpretasikan sebagai kondisi dasar sistem yang menunjukkan toleransi pengisian rendah pada variasi waktu yang diuji.

Analisis Tabel 1 juga memberikan dasar untuk menentukan parameter kontrol target. Volume maksimum gelas sebesar 650 ml tercapai pada waktu pengisian 16,0 detik, yang konsisten dengan model linear yang diperoleh. Namun, parameter ini dipahami sebagai nilai nominal yang bergantung pada debit efektif sistem, sehingga perubahan kondisi operasi berpotensi menghasilkan deviasi volume. Dengan demikian, parameter waktu tidak bersifat universal, melainkan representasi karakteristik sistem pada kondisi tertentu.

Dibandingkan penelitian sebelumnya yang umumnya melaporkan keberhasilan pengisian berdasarkan pencapaian volume target, analisis pada penelitian ini menekankan interpretasi hubungan parameter kontrol dan stabilitas sistem. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi *repeatability* dan

toleransi sistem, bukan sekadar verifikasi fungsi pengisian.

Dalam grafik yang ditampilkan pada Gambar 8 berikut menunjukkan hubungan antara waktu pengisian dan volume air menunjukkan pola linear yang sangat kuat pada seluruh titik pengujian. Peningkatan waktu pengisian menghasilkan kenaikan volume yang proporsional, yang mengindikasikan bahwa debit efektif sistem relatif stabil pada kondisi eksperimen. Pola ini mendukung rumus dasar pengisian cairan $V = Q \times t$, di mana volume dipengaruhi secara langsung oleh lamanya waktu buka katup.



Gambar 8. Grafik hubungan antara waktu pengisian dan volume air

Kemiringan grafik merepresentasikan debit efektif sistem, yang dari data pengujian berada pada kisaran konstan sekitar 40,6 ml/detik. Linearitas grafik menunjukkan bahwa sinkronisasi antara sinyal *timer* PLC, respon katup, dan posisi gelas pada konveyor berada dalam kondisi stabil selama pengujian berlangsung. Hal ini menandakan bahwa sistem kontrol mampu menjaga konsistensi pengisian tanpa fluktuasi signifikan pada rentang parameter yang diuji.

Meskipun grafik menunjukkan kesesuaian linear yang tinggi, interpretasi hasil tidak hanya mengonfirmasi keberhasilan pengisian, tetapi juga memberikan informasi mengenai toleransi sistem. Pada sistem nyata, perubahan tekanan fluida, variasi respon aktuator, serta dinamika pergerakan konveyor dapat menyebabkan perubahan kemiringan kurva yang merefleksikan variasi debit efektif. Oleh karena itu, grafik ini merepresentasikan

karakteristik nominal sistem yang dapat digunakan sebagai referensi dalam evaluasi stabilitas pengisian.

Dibandingkan pendekatan evaluasi yang hanya membandingkan nilai *timer* dan volume, penggunaan grafik memungkinkan identifikasi perilaku sistem secara lebih analitis, termasuk estimasi debit, deteksi deviasi, dan potensi perubahan karakteristik pengisian pada kondisi operasi berbeda. Dengan demikian, grafik tidak hanya berfungsi sebagai visualisasi data, tetapi juga sebagai dasar pembentukan model kuantitatif sederhana untuk memprediksi volume pengisian pada variasi waktu lain.

Hasil ini memperkuat kontribusi penelitian dalam menyediakan kerangka analitis untuk sistem pengisian berbasis PLC, di mana hubungan waktu-volume digunakan sebagai indikator stabilitas sistem, dasar penentuan parameter kontrol, serta referensi evaluasi toleransi pengisian terhadap variasi kondisi operasi.

4.2. Pengujian Gelas Yang Berbeda

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah hasil air yang dihasilkan sama pada setiap gelas sama atau tidak. Tabel 2 berikut adalah hasil pengujian program *timer* PLC untuk proses pengisian air.

Tabel 2. Hasil Pengujian Program Pada Gelas Yang Berbeda

Percobaan pada gelas ke-n	Timer setting PLC	Banyaknya air yang terisi ke dalam gelas (ml)	Posisi jatuhnya air ke gelas
1	160 detik	650 ml	Tepat
2	160 detik	650 ml	Tepat
3	160 detik	650 ml	Tepat
4	160 detik	650 ml	Tepat
5	160 detik	650 ml	Tepat

Hasil pengujian *repeatability* pada Tabel 2 menunjukkan bahwa parameter waktu pengisian yang ditetapkan menghasilkan volume yang konsisten pada operasi berulang. Konsistensi ini mengindikasikan bahwa sistem pengisian berbasis PLC berada pada kondisi

operasi stabil, di mana variasi debit efektif dan respon aktuator berada dalam rentang toleransi yang rendah. Dalam konteks sistem kontrol industri, *repeatability* yang tinggi merupakan indikator penting bahwa parameter kontrol tidak hanya valid secara nominal, tetapi juga *robust* terhadap fluktuasi proses jangka pendek.

Temuan ini memperkuat interpretasi bahwa hubungan waktu pengisian dan volume tidak sekadar bersifat empiris, tetapi merepresentasikan karakteristik sistem yang relatif deterministik pada kondisi eksperimen. Jika rumus dasar $V = Q \times t$, digunakan sebagai kerangka analisis, maka kestabilan volume antar percobaan menunjukkan bahwa debit efektif sistem cenderung konstan selama pengujian. Hal ini menandakan bahwa sinkronisasi antara *timer* PLC, respon katup, dan posisi wadah pada konveyor dapat dipertahankan secara konsisten.

Namun demikian, hasil *repeatability* tidak diinterpretasikan sebagai kondisi bebas kesalahan. Stabilitas volume pada kondisi laboratorium belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi operasi industri yang lebih dinamis, di mana variasi tekanan fluida, keausan komponen, perubahan karakteristik katup, serta gangguan lingkungan berpotensi memengaruhi debit efektif. Oleh karena itu, hasil ini diposisikan sebagai basis stabilitas sistem yang menunjukkan bahwa parameter waktu yang diperoleh memiliki tingkat *robustitas* awal terhadap variasi operasi terbatas.

Dari perspektif kontribusi penelitian, pengujian *repeatability* memberikan dimensi analitis yang membedakan penelitian ini dari studi implementatif sejenis. Banyak penelitian sebelumnya berhenti pada verifikasi bahwa sistem mampu mencapai volume target, tanpa mengevaluasi konsistensi hasil sebagai indikator stabilitas kontrol. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa parameter waktu dapat dipahami sebagai representasi karakteristik sistem, bukan sekadar nilai pengaturan operasional.

Selain itu, stabilitas posisi pengisian yang diamati menunjukkan bahwa koordinasi spasial antara sensor dan kontrol konveyor berperan dalam menjaga konsistensi volume. Ketidaktepatan posisi berpotensi menghasilkan deviasi volume efektif akibat perubahan pola aliran saat pengisian, sehingga *repeatability*

volume juga mencerminkan kualitas integrasi antar sub sistem. Hal ini menegaskan bahwa stabilitas pengisian merupakan hasil interaksi parameter waktu, posisi, dan dinamika mekanik.

Analisis perbandingan Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa sistem pengisian air berbasis PLC tidak hanya mampu membentuk hubungan kuantitatif antara waktu pengisian dan volume, tetapi juga mempertahankan stabilitas hubungan tersebut pada operasi berulang. Tabel 1 mengidentifikasi karakteristik dasar sistem melalui hubungan linear antara waktu pengisian dan volume air, yang merepresentasikan debit efektif sistem sebagai parameter utama pengisian. Linearitas ini menjadi dasar penentuan parameter waktu nominal untuk mencapai volume target.

Sementara itu, Tabel 2 merupakan verifikasi stabilitas parameter yang diperoleh dari Tabel 1. Ketika waktu pengisian nominal diterapkan secara berulang, hasil volume yang konsisten menunjukkan bahwa model hubungan waktu-volume yang diidentifikasi sebelumnya tidak hanya valid secara empiris, tetapi juga stabil dalam operasi berulang. Dengan demikian, Tabel 1 berperan dalam pembentukan model karakteristik sistem, sedangkan Tabel 2 mengevaluasi robustitas model tersebut.

Keterkaitan kedua tabel menunjukkan bahwa hubungan linear yang diperoleh tidak sekadar fenomena sesaat, melainkan mencerminkan perilaku sistem yang relatif deterministik pada kondisi pengujian. Dalam kerangka rumus $V = Q \times t$, Tabel 1 digunakan untuk mengestimasi debit efektif, sedangkan Tabel 2 menunjukkan bahwa variasi debit antar percobaan berada dalam batas toleransi rendah. Hal ini menegaskan bahwa parameter waktu pengisian dapat digunakan sebagai representasi karakteristik sistem pada kondisi operasi nominal.

Interpretasi perbandingan tabel juga memberikan pemahaman mengenai toleransi sistem. Linearitas pada Tabel 1 menunjukkan sensitivitas volume terhadap perubahan waktu, sedangkan konsistensi pada Tabel 2 menunjukkan bahwa variasi internal sistem seperti respon katup, delay kontrol, dan dinamika konveyor belum menghasilkan deviasi signifikan. Dengan kata lain, sistem memiliki stabilitas jangka pendek yang

memadai untuk mempertahankan konsistensi pengisian.

Dari perspektif ilmiah, analisis perbandingan tabel ini memperluas evaluasi sistem pengisian dari sekadar pencapaian volume target menuju pemahaman karakteristik dan stabilitas sistem. Banyak penelitian implementatif hanya menampilkan salah satu aspek, yaitu hubungan parameter atau pengujian berulang, tanpa mengaitkan keduanya sebagai kerangka analitis. Penelitian ini menunjukkan bahwa pembentukan rumus parameter (Tabel 1) dan evaluasi repeatability (Tabel 2) merupakan dua tahap yang saling melengkapi dalam menilai kinerja sistem pengisian otomatis.

Secara keseluruhan, pembahasan perbandingan Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa parameter waktu pengisian yang diperoleh tidak hanya merepresentasikan kondisi optimal, tetapi juga memiliki tingkat stabilitas operasional yang memadai. Temuan ini memperkuat kerangka analitis penelitian yang menempatkan hubungan waktu-volume sebagai dasar evaluasi kinerja sistem serta menegaskan bahwa sistem pengisian berbasis PLC dapat dianalisis menggunakan pendekatan karakteristik dan toleransi, bukan hanya verifikasi fungsional.

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Sistem pengisian air berbasis PLC menunjukkan hubungan linear yang kuat antara waktu pengisian dan volume, sehingga waktu dapat digunakan sebagai parameter kontrol utama dengan rumus dasar $V = Q \times t$, dan debit efektif sekitar 40,6 ml/detik.
- Parameter waktu nominal 160 detik berhasil menghasilkan volume target 650 ml dan merepresentasikan karakteristik sistem pada kondisi pengujian, meskipun nilainya dapat berubah akibat variasi kondisi operasi.
- Hasil grafik dan analisis menunjukkan bahwa sinkronisasi *timer*, respon katup, dan posisi gelas pada konveyor mampu menjaga stabilitas pengisian pada rentang parameter yang diuji.
- Pengujian *repeatability* membuktikan bahwa sistem memiliki konsistensi volume

yang tinggi pada operasi berulang, yang menunjukkan toleransi sistem rendah dan robustitas awal parameter kontrol.

- e. Integrasi analisis hubungan waktu-volume dan repeatability memberikan kontribusi ilmiah berupa kerangka evaluasi karakteristik, stabilitas, dan toleransi sistem pengisian berbasis PLC, melampaui verifikasi fungsional semata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Y. Asmawati, "Mengukur Laju Air Keluar Dari Botol Pada Tiap Lubang Dengan Ketinggian Tertentu," *J. Pendidik. Fis.*, vol. 2, no. 1, pp. 57–62, 2014, doi: 10.24127/jpf.v2i1.114.
- [2] S. Hartanto and Desmayadi, "Plumbing leakage detection system with water level detector controlled by programmable logic controller type Omron CPM2A," *J. Mechatronics, Electr. Power, Veh. Technol.*, vol. 13, no. 2, pp. 137–146, 2022, doi: 10.14203/j.mev.2022.v13.137-146.
- [3] T. Oktaviani, "Hygiene and Sanitation of Refill Drinking Water Depo at PT X, Taman, Sidoarjo," *J. Kesehat. Lingkung.*, vol. 10, no. 4, p. 376, 2018, doi: 10.20473/jkl.v10i4.2018.376-384.
- [4] A. Febriandirza and A. A. G. A. Sahuri, "Rancang Bangun Dispenser Otomatis Untuk Tunanetra Berbasis Microcontroller," *Pseudocode*, vol. 8, no. 2, pp. 143–152, 2021, doi: 10.33369/pseudocode.8.2.143-152.
- [5] S. Kusumastuti, "Rancang Bangun Pengisi Minuman Berdasarkan Tinggi Wadah," *ORBITH*, vol. 16, no. 1, pp. 72–76, 2020.
- [6] P. Pangestu, D. Aribowo, and M. A. Hamid, "Auto Filling Machine System Based On Human Machine Interface Microcontroller With Water Flow Sensor," *J. INTECOMS (Information Technol. Comput. Sci.)*, vol. 7, 2024.
- [7] B. Sitorus and A. Tahyudin, "Rancang Bangun Alat Memberi Pakan Ikan Lele Otomatis Berbasis Arduino UNO," *J. LIMIT'S*, vol. 14, no. 1, pp. 1–12, 2018.
- [8] Imnadir and M. W. Lestari, "Kendali Proses Pengisian Tangki Air Dan Botol Minuman Otomatis Menggunakan PLC," *J-Eltrik*, vol. 4, no. 1, pp. 36–44, 2022, doi: 10.30649/je.v4i1.82.
- [9] B. Herdiana, E. B. Setiawan, and U. Sartoyo, "Tinjauan Komprehensif Evolusi, Aplikasi, dan Tren Masa Depan Programmable Logic Controllers (A Comprehensive Review of the Evolution, Applications, and Future Trends of Programmable Logic Controllers)," *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 11, no. 2, pp. 173–193, 2024, doi: 10.34010/telekontran.v11i2.12896.
- [10] A. Susanto, "Modul Programmable Logic Controller (Plc) Berbasis Arduino Severino," *J. Edukasi Elektro*, vol. 1, no. 2, 2017, doi: 10.21831/jee.v1i2.17413.
- [11] S. Afianto, Adiarto, and Imam Sutrisno, "Studi Efisiensi Programmable Logic Controller Sebagai Kontroler Sensor Sistem Smart Home," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 11, no. 3, pp. 708–716, 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i3.5592.
- [12] M. Wildan, A. Goeritno, and J. Irawan, "Embedded Device Berbasis PLC pada Miniatur Konveyor untuk Pengoperasian Simulator Rejection System," *J. RESTI*, vol. 5, no. 2, pp. 301–311, 2021, doi: 10.29207/resti.v5i2.2994.
- [13] S. Hartanto, "Tegangan Motor DC Terhadap Berat Barang Pada Ban Berjalan," *J. Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 174–181, 2022.
- [14] R. F. Putra, S. Wardono, and I. Kamil, "Sistem Kontrol Kecepatan Motor DC Dengan Metode Pulse Width Modulation Berbasis PLC," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 286–293, 2021.
- [15] M. F. Muzaki, D. R. Nurjannah, K. Cimahi, K. Cimahi, and J. Barat, "Pengaruh Kecepatan Konveyor Pada Penggunaan IoT Dan PLC Secara Real-Time Pada Prototype Car Wash Dengan Pulse Width Modulation," *JITET (Jurnal Inform. dan Tek. Elektro Ter.)*, vol. 13, no. 3S1, pp. 221–228, 2025.
- [16] M. A. Barokah and M. Gracio, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Conveyor return side gum Berbasis PLC Allen Bradley untuk Meningkatkan Produktivitas Mesin Ply Cutting Pada Manufaktur Ban," *JITET (Jurnal Inform. dan Tek. Elektro Ter.)*, vol. 13, no. 3, pp. 2314–2325, 2025, [Online]. Available: <http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jitet/article/view/7448%0Ahttp://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jitet/article/download/7448/3538>
- [17] Putu Rizky Jaya Kusuma, I Ketut Parti, I Ketut Darminta, and I Nyoman Mudiana, "Kajian penerapan PLC untuk meningkatkan produktivitas proses pengisian air dan penutup botol otomatis," *Jamatech*, vol. 3, no. 2, pp. 64–70, 2022.
- [18] B. Alfaresi, Afandi, and F. Ardianto, "Desain Dan Perancangan Miniatur Alat Penyaring Sampah Otomatis Berbasis Plc,"

- Electrician*, vol. 16, no. 2, pp. 129–137, 2022, doi: 10.23960/elc.v16n2.2227.
- [19] A. Yudamson, A. Trisanto, and F. X. A. Setyawan, “Rancang Bangun Model Lift Cerdas 3 Lantai Dengan Menggunakan PLC Omron Zen 20C1AR-A-V2,” *Electrician*, vol. 7, no. 3, pp. 116–124, 2013.
- [20] R. H. Hutabarat, S. R. Sulistiyanti, and E. Nasrullah, “Rancang Bangun Konveyor Penyortiran Barang Dengan Pengenalan Pola Bentuk dan Warna Menggunakan Webcam,” *Electrician*, vol. 7, no. 2, pp. 73–77, 2020.
- [21] S. Hartanto, “Pengaruh Beban Barang Pada Ban Berjalan Terhadap Kecepatan Motor Penggerak,” *Pros. Penelit. dan Pengabd.*, vol. 1, no. 1, pp. 1383–1388, 2021.
- [22] A. Ridhamuttaqin, A. Trisanto, and E. Nasrullah, “Rancang Bangun Model Sistem Pemberi Pakan Ayam Otomatis Berbasis Fuzzy Logic Control,” *Electrician*, vol. 7, no. 3, pp. 125–137, 2013, [Online]. Available: <https://electrician.unila.ac.id/index.php/ojs/article/view/124>
- [23] W. A. Oktaviani and I. Sukri, “Kendali Motor DC Brushless Modifikasi Menggunakan IC Ne555 Dan CD4017,” *Electrician*, vol. 15, no. 1, pp. 20–24, 2021, doi: 10.23960/elc.v15n1.2159.
- [24] Abdul Muis Prasetya, Dody Asmara, and Linda Sartika, “Pengaturan Kecepatan Motor Brushless Direct Current (BLDC) Menggunakan Cuk Converter Berbasis Fuzzy Logic Controller,” *Electrician*, vol. 17, no. 3, pp. 270–276, 2023, doi: 10.23960/elc.v17n3.2478.
- [25] A. . Hutajulu, M. . Malino, and J. . Tambunan, “Implementasi Pengujian Karakteristik Miniatur Circuit Breaker Berdasarkan Sni 60898-1:2009 Di Pt Pln (Persero) Pusat Sertifikasi,” *Pros. Semin. Nas. Penelit. LPPM UMJ*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2024, [Online]. Available: <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit>
- [26] W. Wasiran, W. D. Yudisworo, and E. Prihastuty, “Pengujian Performansi Jenis Pompa Sentrifugal Dengan Daya 3 Hp,” *Mestro J. Tek. Mesin dan Elektro*, vol. 4, no. 02, pp. 21–30, 2022, doi: 10.47685/mestro.v5i02.365.
- [27] F. B. Lubis and A. Yanie, “Implementasi Pulse Width Modulation (PWM) Pada Penyaluran Limbah Cair Pupuk Kelapa Sawit Berbasis Arduino,” *JET (Journal Electr. Technol.)*, vol. 7, no. 2, pp. 39–46, 2022, doi: 10.30743/jet.v7i2.5394.
- [28] D. Aribowo, “Sistem Perancangan Conveyor Menggunakan Sensor Proximity Pr18-8dn Pada Wood Sanding Machine,” *Edusaintek J. Pendidikan, Sains dan Teknol.*, vol. 8, no. 1, pp. 67–81, 2021.
- [29] Y. Apriani and I. Zaelani, “Analisis Traction Power Supply Substation LRT Palembang,” *Electrician*, vol. 16, no. 2, pp. 138–145, 2022, doi: 10.23960/elc.v16n2.2234.