



Implementasi *Float Switch* Level Sensor, Ultrasonik Sensor, dan *Water Flow* Sensor pada Prototipe Sistem Kendali Pompa Asam Sulfat Berbasis Arduino

Muhammad Adit Dwiky^{1*}, Atmiasri²

¹⁻² Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, Indonesia

Alamat: Jl. Dukuh Menanggal XII, Gayungan, Surabaya 60234, Jawa Timur, Indonesia

Korespondensi penulis: dwikyadit15@gmail.com*

Article History:

Received: Juli 16, 2025;

Revised: Juli 30, 2025;

Accepted: Agustus 04, 2025

Online Available: Agustus 06, 2025

Keywords: Arduino, Automation, *Float Switch*, Sulfuric Acid, Ultrasonic Sensor

Abstract. *The handling of hazardous chemicals, such as sulfuric acid (H_2SO_4), in industrial processes requires a control system that ensures both operational reliability and safety. Manual pump operation in such contexts carries a significant risk of over-pumping, leaks, and exposure, which can lead to environmental contamination and safety hazards. To address this issue, this study focuses on the design and implementation of an automatic pump control system prototype using the Arduino Mega 2560 microcontroller. The system integrates three key sensors: a float switch for basic level detection, an ultrasonic sensor (HC-SR04) for precise liquid level measurement, and a water flow sensor (YF-S201) for monitoring flow rate. The prototype is programmed to automatically regulate pump operation based on real-time input from the sensors. When the liquid level reaches a predetermined threshold, the pump activates or deactivates accordingly. Sensor data, including fluid height and flow rate, are displayed in real-time on a 3.5-inch TFT LCD, allowing for direct operator monitoring. Both the hardware configuration and software algorithms were tested for functionality, response time, and accuracy under simulated industrial conditions. The results indicate that the system can reliably control pump activation with minimal error rates. The ultrasonic sensor demonstrated an average measurement error of 0.94%, while the water flow sensor achieved an error rate of 1.19%. The software successfully processed sensor data and executed output actions consistent with the programmed logic. Overall, this automated control system proved effective in mitigating the risk of over-pumping and improving safety in handling hazardous chemical fluids. Given its accuracy, reliability, and cost-effectiveness, the developed prototype is considered suitable for small- to medium-scale industrial applications, with potential for further refinement to meet larger operational demands.*

Abstrak.

Penanganan bahan kimia berbahaya, seperti asam sulfat (H_2SO_4), dalam proses industri memerlukan sistem kontrol yang andal dan aman. Pengoperasian pompa secara manual pada konteks ini memiliki risiko tinggi seperti over-pumping, kebocoran, dan paparan langsung, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan serta membahayakan keselamatan kerja. Untuk mengatasi masalah tersebut, penelitian ini berfokus pada perancangan dan implementasi prototipe sistem kontrol pompa otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Mega 2560. Sistem ini mengintegrasikan tiga sensor utama: float switch untuk deteksi dasar ketinggian cairan, sensor ultrasonik (HC-SR04) untuk pengukuran presisi tinggi terhadap level cairan, dan water flow sensor (YF-S201) untuk memantau laju aliran. Prototipe diprogram untuk mengatur operasi pompa secara otomatis berdasarkan masukan waktu nyata (real-time) dari sensor. Ketika level cairan mencapai ambang batas yang telah ditentukan, pompa akan aktif atau nonaktif secara otomatis. Data sensor, termasuk ketinggian cairan dan laju aliran, ditampilkan secara langsung pada layar TFT LCD 3,5 inci sehingga operator dapat melakukan pemantauan secara instan. Pengujian dilakukan terhadap konfigurasi perangkat keras dan algoritma perangkat lunak untuk menilai fungsionalitas, waktu respons,

dan akurasi dalam kondisi simulasi industri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini dapat mengontrol aktivasi pompa secara andal dengan tingkat kesalahan yang sangat rendah. Sensor ultrasonik memiliki rata-rata kesalahan pengukuran sebesar 0,94%, sedangkan water flow sensor memiliki tingkat kesalahan 1,19%. Perangkat lunak berhasil memproses data sensor dan menghasilkan keluaran yang sesuai dengan logika pemrograman. Secara keseluruhan, sistem kontrol otomatis ini efektif dalam mengurangi risiko over-pumping dan meningkatkan keselamatan dalam pengelolaan cairan kimia berbahaya. Dengan tingkat akurasi, keandalan, dan efisiensi biaya yang dimilikinya, prototipe ini dinilai layak untuk diadopsi pada aplikasi industri skala kecil hingga menengah, serta berpotensi dikembangkan untuk kebutuhan operasional yang lebih besar.

Kata kunci: Arduino, Asam Sulfat, Float Switch, Otomatisasi, Sensor Ultrasonik

1. LATAR BELAKANG

Kemajuan teknologi otomasi telah memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan efisiensi dan keselamatan kerja di berbagai sektor industri, termasuk dalam penanganan bahan kimia berbahaya. Asam sulfat (H_2SO_4), yang banyak digunakan dalam industri kimia dan pengolahan limbah, merupakan zat korosif dengan risiko tinggi terhadap kesehatan manusia dan lingkungan apabila tidak ditangani dengan sistem kendali yang memadai. Proses pengisian dan pemindahan cairan ini secara manual berpotensi menimbulkan kesalahan operasional seperti luapan (*overflow*), kebocoran, atau keterlambatan dalam pengendalian pompa, yang dapat menyebabkan pencemaran dan membahayakan pekerja di lapangan. Studi oleh Sarwar (2022) menunjukkan bahwa penggunaan sistem otomasi berbasis Arduino dalam pengelolaan cairan seperti H_2SO_4 dapat secara signifikan mengurangi risiko operasional melalui kontrol pompa dan sensor level cairan. Sistem tersebut juga memungkinkan pemantauan jarak jauh, sehingga mengurangi potensi paparan langsung operator terhadap bahan kimia berbahaya, sebagaimana juga diuraikan dalam penelitian oleh Sangeetha dan Periyathambi (2024) yang menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengendalikan distribusi cairan secara otomatis dan aman.

Observasi pada salah satu perusahaan manufaktur menunjukkan bahwa sistem pengendalian asam sulfat masih dilakukan secara manual dan sangat bergantung pada ketelitian operator. Ketergantungan ini membatasi kemampuan sistem dalam merespons perubahan kondisi secara *real-time* serta menurunkan efisiensi produksi. Selain itu, operator harus berada dalam jarak dekat dengan bahan kimia berbahaya, yang meningkatkan potensi paparan langsung terhadap zat toksik. Keterbatasan sistem manual semacam ini juga diidentifikasi oleh Onyinyechukwu (2023), yang mencatat bahwa kurangnya otomasi pada sistem cairan dapat menimbulkan keterlambatan dalam pengendalian serta risiko operasional akibat kesalahan manusia. Implementasi teknologi otomasi, terutama yang berbasis Arduino dan sensor non-kontak seperti HC-SR04 serta *float switch*, dapat secara signifikan meningkatkan kecepatan

respons sistem terhadap perubahan kondisi cairan, sekaligus mengurangi kebutuhan interaksi langsung operator dengan bahan berbahaya (Suleiman, 2023).

Sebagai respons terhadap permasalahan tersebut, pengembangan sistem kendali otomatis yang andal menjadi kebutuhan mendesak. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 menawarkan kemampuan untuk mengelola berbagai jenis sensor dan aktuator secara simultan, menjadikannya platform ideal untuk aplikasi industri cairan kimia. Sensor ultrasonik HC-SR04 memungkinkan pengukuran tinggi permukaan cairan secara non-kontak, yang sangat sesuai untuk penanganan zat korosif seperti asam sulfat (Petru et al., 2023; Sangeetha & Periyathambi, 2024). Di sisi lain, *float switch* digunakan sebagai perangkat pengaman batas atas cairan, yang secara otomatis dapat menghentikan proses pengisian bila level cairan telah mencapai ambang maksimum, seperti ditunjukkan oleh Onyinyechukwu (2023) dalam sistem pompa cairan berbasis Arduino. Selain itu, sensor laju aliran YF-S201 juga telah banyak digunakan dalam sistem kendali cairan untuk menyediakan informasi *real-time* mengenai debit aliran, mendukung pengendalian pompa yang presisi dan efisien (Sarwar, 2022).

Ketiga sensor ini dikendalikan oleh Arduino Mega 2560 untuk mengatur aktuator seperti *solenoid valve* dan *relay opto-isolator*, serta menampilkan data sistem secara waktu nyata melalui layar TFT LCD 3,5 inci. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk beroperasi secara otomatis dengan presisi tinggi dalam mengatur aliran dan level cairan berbahaya. Dalam tahap pengujian sistem, digunakan air aki dengan kadar H_2SO_4 rendah sebagai media simulasi yang aman. Air aki dipilih karena memiliki karakteristik elektrolit dan viskositas yang menyerupai cairan asam sulfat industri, sehingga relevan digunakan untuk menguji fungsi dinamis sistem sambil tetap menjaga keselamatan kerja (Sarwar, 2022).

Penelitian ini memfokuskan pada integrasi tiga jenis sensor—ultrasonik HC-SR04, *float switch*, dan *water flow sensor* YF-S201—ke dalam satu sistem pengendali cairan berbasis Arduino yang dilengkapi dengan tampilan visual *real-time*. Integrasi multisensor ini menunjukkan peningkatan presisi dan responsivitas yang signifikan dibanding sistem terdahulu yang hanya mengandalkan satu atau dua jenis sensor (Petru et al., 2023; Sangeetha & Periyathambi, 2024).

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem kendali otomatis berbasis Arduino yang mampu mengatur kinerja pompa untuk pengisian cairan asam sulfat berdasarkan parameter tinggi cairan dan laju aliran. Sistem ini juga menyediakan keluaran visual secara *real-time*, yang diharapkan dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi operasional dan keselamatan kerja, terutama dalam konteks industri yang melibatkan bahan kimia berisiko tinggi (Onyinyechukwu, 2023).

2. KAJIAN TEORITIS

Penelitian ini didasarkan pada perkembangan teknologi sistem tertanam (*embedded systems*), yang memungkinkan otomatisasi berbagai proses industri melalui integrasi perangkat keras seperti sensor dan aktuator dengan mikrokontroler. Mikrokontroler merupakan unit pemrosesan mikro yang dilengkapi dengan memori, antarmuka input-output digital, dan modul komunikasi dalam satu chip. Dibandingkan dengan mikroprosesor, mikrokontroler lebih unggul dalam hal efisiensi daya, dimensi fisik, serta kemudahan integrasi komponen, sehingga sesuai untuk aplikasi kendali otomatis pada ruang terbatas (Artanto, 2009). Dalam penelitian ini digunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang mendukung pengolahan sinyal input-output secara simultan, serta kompatibel dengan antarmuka komunikasi UART, I²C, dan SPI (Kartiria Kartiria, Erhaneli Erhaneli, 2021; Prastyo, 2024).

Untuk mendeteksi tinggi cairan dalam tangki, digunakan sensor ultrasonik HC-SR04, yang bekerja dengan prinsip pengukuran waktu pantul gelombang suara berfrekuensi tinggi. Sensor ini memungkinkan pengukuran tanpa kontak langsung, sehingga aman untuk digunakan pada cairan bersifat korosif seperti asam sulfat (Santoso, 2015; Yudha & Sani, 2017). Pengukuran jarak dilakukan dari permukaan sensor ke permukaan cairan yang terdeteksi, sehingga hasil yang diperoleh menunjukkan jarak antara sensor dan permukaan cairan. Beberapa studi menyebutkan bahwa sensor ini memiliki tingkat akurasi tinggi dan telah diaplikasikan dalam sistem otomatisasi industri (Arifin et al., 2022).

Selain itu, digunakan *float switch*, yaitu sensor mekanik berbasis pelampung yang akan mengaktifkan atau memutus aliran listrik ketika cairan mencapai batas level tertentu. Sensor ini berperan sebagai pengaman terhadap kondisi luapan (*overflow*) atau kekosongan tangki dan umum digunakan dalam sistem tangki air industri maupun pintu air otomatis (Apriyanto, 2015).

Untuk memantau laju aliran cairan, digunakan *flow sensor* tipe YF-S201. Sensor ini memanfaatkan efek Hall untuk mendeteksi jumlah putaran baling-baling akibat aliran fluida. Frekuensi pulsa yang dihasilkan berbanding lurus dengan volume aliran, sehingga memungkinkan pengukuran yang presisi dan cepat (Fitriyanto et al., 2024; Muamaroh & Christanto, 2024). Penggunaan sensor ini dinilai sesuai dalam sistem berbasis mikrokontroler, terutama untuk pengendalian aliran bahan kimia secara otomatis.

Data yang dikumpulkan dari seluruh sensor ditampilkan melalui layar TFT LCD 3,5 inci, yang mampu menyajikan teks dan grafik status sistem secara *real-time*. Layar ini mempermudah operator dalam memantau kondisi cairan dan kinerja pompa secara visual dan langsung (Aji & Pangestu, 2021). Pengolahan sinyal dan tampilan data dikembangkan menggunakan Arduino IDE, sebuah perangkat lunak pemrograman berbasis bahasa C/C++

yang mendukung kompilasi dan *upload* program ke papan Arduino (Prastyo, 2018; Wagino & Arafat, 2018).

Dari sisi aktuator, sistem ini menggunakan pompa air yang bekerja berdasarkan prinsip perbedaan tekanan untuk memindahkan fluida. Dalam konteks industri, pompa merupakan elemen penting yang berfungsi mengatur kecepatan dan arah aliran dengan presisi, menjadikannya komponen vital dalam sistem pengendali fluida otomatis (Sularso & Tahara, 2000).

Penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem berbasis mikrokontroler untuk pengendalian cairan non-korosif. Namun, belum banyak yang secara khusus mengintegrasikan tiga jenis sensor—*ultrasonic*, *float switch*, dan *flow sensor*—secara simultan dalam sistem pengelolaan cairan korosif seperti asam sulfat. Keunggulan sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini terletak pada kemampuannya menyajikan informasi visual secara langsung dan responsif, yang menjadikannya potensial untuk pengawasan dalam konteks industri berskala kecil hingga menengah.

Dengan demikian, penelitian ini memiliki urgensi dalam menghadirkan solusi otomasi yang aman, efisien, dan ekonomis untuk pengelolaan cairan kimia berbahaya. Sistem yang dirancang bertujuan mengurangi risiko operasional akibat kesalahan manusia dan meningkatkan keakuratan serta kecepatan respons dalam proses pengisian dan pengeluaran cairan. Berdasarkan kajian ini, diasumsikan bahwa integrasi mikrokontroler Arduino dengan kombinasi tiga sensor dapat menghasilkan sistem kendali cairan otomatis yang andal dan aplikatif bagi kebutuhan industri.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen terapan, bertujuan untuk merancang dan menguji sistem kendali otomatis berbasis mikrokontroler Arduino dalam proses pengisian cairan asam sulfat secara *real-time*. Proses penelitian mencakup dua tahap utama, yakni perancangan sistem berdasarkan kajian literatur dan analisis kebutuhan teknis, serta pengujian sistem untuk mengevaluasi performa perangkat keras dan perangkat lunak terhadap parameter seperti akurasi sensor, responsivitas pompa, dan konsistensi tampilan data. Komponen utama sistem meliputi Arduino Mega 2560 sebagai pusat kendali, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi tinggi cairan, *float switch* untuk batas level maksimum, dan *water flow sensor* YF-S201 untuk memantau laju aliran. Komponen pendukung seperti relay, motor DC berbasis PWM, dan layar TFT LCD 3,5 inci digunakan untuk pengendalian aktuator dan tampilan visual sistem.

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE sebagai platform pemrograman berbasis C/C++ yang mendukung kompilasi dan unggahan kode ke papan Arduino (Prastyo, 2018; Wagino & Arafat, 2018). Struktur program disusun dalam bentuk *flowchart* yang mencakup inisialisasi sistem, pembacaan sensor, pengendalian aktuator, dan visualisasi data. Data dikumpulkan melalui observasi langsung terhadap respons sistem (Sugiyono, 2018), eksperimen terhadap performa sistem berdasarkan variasi kondisi seperti tinggi permukaan cairan dan kecepatan aliran (Sugiyono, 2019), serta dokumentasi hasil pengujian dan konfigurasi sistem. Pengujian dilakukan untuk memastikan fungsi sensor, relay, pompa, dan tampilan LCD berjalan sesuai desain, serta mengevaluasi ketepatan logika program dalam merespons data masukan.

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan nilai aktual terhadap spesifikasi perancangan atau referensi teoretis. Analisis ini dilakukan untuk menilai efektivitas dan keandalan sistem dalam mengendalikan cairan secara otomatis. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem kendali cairan kimia berbasis mikrokontroler yang aman, presisi, dan adaptif bagi kebutuhan industri berskala kecil hingga menengah.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem kendali otomatis pengisian cairan berbasis mikrokontroler Arduino. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama seperti sensor ultrasonik, sensor water flow, sensor float switch, relay, pompa air, serta tampilan visual melalui LCD TFT. Proses pengujian dilakukan untuk menilai akurasi sensor, kecepatan respons sistem, serta keandalan tampilan data secara real-time. Hasil pengujian dan analisis disajikan dalam subbagian berikut.

Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mendeteksi ketinggian cairan dalam tangki secara non-kontak. Pengukuran dilakukan dari permukaan sensor ke permukaan cairan, sehingga jarak yang terbaca merupakan selisih antara posisi sensor yang dipasang di atas tangki dan permukaan cairan di bawahnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu memberikan pembacaan yang akurat dengan rata-rata *error* sebesar 0,94%. Selisih antara pengukuran aktual dan pembacaan sensor berkisar antara 0,03 cm hingga 0,21 cm, dengan persentase *error* tertinggi sebesar 1,44% dan terendah sebesar 0,20%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor bekerja secara konsisten dan dapat diandalkan dalam sistem kendali otomatis.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

No	Ketinggian Aktual (cm)	Pembacaan Sensor (cm)	Selisih (cm)	Error (%)
1	5	5,07	0,07	1,40
2	7,5	7,59	0,09	1,20
3	10	10,12	0,12	1,20
4	12,5	12,68	0,18	1,44
5	15	15,03	0,03	0,20
6	17,5	17,58	0,08	0,46
7	20	20,21	0,21	1,05
8	25	25,14	0,14	0,56
	Rata-rata			0,94

(sumber: data primer, diolah)

Hasil Pengujian Sensor Water Flow

Sensor water flow YF-S201 digunakan untuk mengukur laju dan volume aliran cairan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu memberikan data yang akurat dengan rata-rata *error* sebesar 1,19%. Kesalahan tertinggi sebesar 2,00% terjadi pada volume 100 ml, sedangkan kesalahan terendah adalah 0,27% pada volume 750 ml. Akurasi sensor ini menunjukkan kinerjanya sesuai untuk pemantauan debit cairan berbasis mikrokontroler.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Water Flow YF-S201

No	Volume Aktual (ml)	Volume Sensor (ml)	Selisih (ml)	Error (%)
1	100	102	2	2,00
2	250	254	4	1,60
3	500	508	8	1,60
4	750	752	2	0,27
5	1000	1005	5	0,50
	Rata-rata			1,19

Hasil Pengujian Relay

Pengujian relay dilakukan untuk mengukur kecepatan respons saklar elektronik dalam mengaktifkan dan menonaktifkan pompa. Rata-rata waktu respon sebesar 0,3 detik menunjukkan bahwa relay bekerja cepat dalam menerima sinyal logika dari Arduino untuk mengatur aliran daya listrik.

Tabel 3. Hasil Pengujian Relay

No	Sinyal Mikrokontroler	Status Relay	Status Pompa	Delay Respon (detik)
1	> 5 cm	ON	ON	0,3
2	> 5 cm	ON	ON	0,3
3	≤ 5 cm	OFF	OFF	0,2
4	≤ 5 cm	OFF	OFF	0,4
	Rata-rata			0,3

Hasil Pengujian LCD

Pengujian tampilan LCD dilakukan untuk mengevaluasi kejelasan dan respons tampilan data sistem. Hasil menunjukkan bahwa informasi dari sensor ditampilkan secara real-time dan

tetap terbaca dengan baik dalam kondisi cahaya terang maupun redup. Sistem ini efektif dalam memberikan umpan balik visual kepada pengguna.

Tabel 4. Hasil Pengujian Tampilan LCD

No	Aspek	Input	Observasi
1	Data Sensor	10 cm & 1,5 L/min	Nilai muncul cepat dan akurat
2	Pencahayaan	Redup dan Terang	Tampilan tetap jelas dan terbaca

Hasil Pengujian Software

Program mikrokontroler yang ditanam melalui Arduino IDE berhasil menjalankan logika sistem secara tepat. Pompa aktif atau mati berdasarkan input dari sensor, dan setiap perubahan kondisi sistem tercermin langsung di tampilan LCD. Tidak ditemukan delay atau *error* dalam eksekusi logika program, menunjukkan kestabilan perangkat lunak.

Tabel 5. Hasil Pengujian Software

No	Kondisi Input	Output Aktual	Status
1	Level > 5 cm	Pompa menyala, LCD: “Mengisi”	Berhasil
2	Level ≤ 5 cm	Pompa mati, LCD: “Penuh”	Berhasil
3	Float aktif	Pompa mati, LCD: “Penuh”	Berhasil

Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem kendali otomatis pengisian cairan berbasis mikrokontroler Arduino Mega 2560 menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam mengelola proses pengisian cairan ke dalam tangki secara real-time. Sistem ini secara umum bekerja berdasarkan prinsip input–process–output, di mana sensor sebagai input memberikan data ke mikrokontroler, yang kemudian mengatur aktuator seperti pompa dan tampilan LCD sebagai output.

Sensor ultrasonik HC-SR04 menunjukkan tingkat akurasi tinggi dengan rata-rata *error* 0,94%. Angka ini menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi permukaan cairan dengan deviasi yang sangat kecil, sehingga layak digunakan dalam sistem kendali yang membutuhkan presisi tinggi. Hasil ini sejalan dengan penelitian Santoso (2015), yang menyatakan bahwa sensor ultrasonik sangat efektif untuk pengukuran level cairan karena kemampuannya mendeteksi jarak tanpa kontak langsung, menghindari kerusakan pada sensor akibat korosi. Akurasi tinggi ini juga mengurangi risiko kesalahan pembacaan yang dapat menyebabkan overfilling atau kekeringan tangki.

Sensor water flow YF-S201 memberikan rata-rata *error* sebesar 1,19%, menunjukkan bahwa sensor ini cukup andal untuk memantau debit cairan yang masuk ke dalam tangki. Akurasi ini mengonfirmasi temuan Fitriyanto et al. (2024) yang menyebutkan bahwa sensor YF-S201 memiliki hubungan linier antara jumlah pulsa yang dihasilkan dengan volume cairan yang mengalir. Sensor ini efektif dalam memastikan proses pengisian berlangsung sesuai dengan kebutuhan sistem dan menghindari pemborosan bahan kimia, terutama bila diaplikasikan untuk cairan seperti asam sulfat.

Sensor float switch, meskipun bekerja secara mekanis, memiliki peran penting sebagai pemutus utama saat volume cairan melebihi batas aman. Dalam sistem ini, float switch tidak hanya memutus kerja pompa, tetapi memutus seluruh aliran daya ke sistem, menjadikannya sistem proteksi total terhadap kelebihan cairan. Fitur ini memperkuat standar keamanan sistem, sesuai dengan rekomendasi Apriyanto (2015) yang menyatakan bahwa sensor float sangat efektif untuk sistem pemutus otomatis berbasis level cairan.

Pengujian terhadap relay menunjukkan bahwa komponen ini memiliki delay rata-rata 0,3 detik, yang tergolong cepat untuk sistem kendali berbasis mikrokontroler. Respons cepat ini penting dalam menjaga kestabilan sistem dan menghindari keterlambatan dalam proses pengisian. Sejalan dengan pendapat Artanto (2009), penggunaan relay dengan optoisolator juga memberi perlindungan tambahan terhadap gangguan tegangan yang dapat merusak Arduino.

Pada sisi tampilan, penggunaan LCD TFT 3,5 inci terbukti efektif dalam memberikan informasi kepada operator secara real-time. Keterbacaan layar dalam kondisi pencahayaan yang bervariasi menunjukkan bahwa sistem ini cukup andal untuk dioperasikan di lingkungan industri yang tidak selalu memiliki pencahayaan optimal. Aji dan Pangestu (2021) menyatakan bahwa layar TFT sangat ideal untuk aplikasi monitoring karena mendukung warna penuh dan interaksi visual yang jelas.

Dari sisi perangkat lunak, pengujian menunjukkan bahwa logika program bekerja sesuai dengan skenario yang dirancang. Program dapat mengenali kondisi level cairan, mengaktifkan dan menonaktifkan pompa sesuai kebutuhan, serta menampilkan status sistem secara tepat. Hal ini mendukung hasil dari Wagino dan Arafat (2018), bahwa pemrograman Arduino IDE cukup andal untuk implementasi logika kontrol berbasis mikrokontroler.

Secara keseluruhan, sistem ini menunjukkan keunggulan dalam hal efisiensi, keamanan, dan akurasi. Salah satu keunggulan signifikan adalah integrasi multi-sensor yang bekerja secara bersamaan dan saling mendukung untuk meningkatkan stabilitas sistem. Sistem ini berpotensi untuk diimplementasikan dalam skala industri kecil hingga menengah,

khususnya pada sektor yang membutuhkan pengisian cairan kimia secara aman, seperti pengolahan air limbah, industri farmasi, atau pengolahan bahan kimia lainnya.

Namun, keterbatasan penelitian ini adalah penggunaan air aki sebagai media simulasi, bukan asam sulfat dengan konsentrasi sebenarnya. Oleh karena itu, meskipun validasi fungsional sistem telah terbukti berhasil, diperlukan pengujian lanjutan dengan bahan kimia aktual dan material anti-korosif untuk menjamin keandalan sistem dalam kondisi industri sebenarnya. Penelitian lanjutan juga disarankan untuk menambahkan fitur komunikasi nirkabel guna memungkinkan monitoring jarak jauh melalui IoT atau antarmuka berbasis web.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kendali otomatis pengisian cairan asam sulfat berbasis mikrokontroler Arduino Mega 2560 telah berhasil dirancang dan diuji dengan kinerja yang baik. Integrasi tiga jenis sensor—*float switch*, sensor ultrasonik, dan *water flow sensor*—dalam satu sistem mampu menghasilkan kendali otomatis yang responsif dan akurat secara *real-time*. Sistem ini secara otomatis menghentikan pengisian ketika volume cairan mencapai batas maksimum dan mengatur laju aliran berdasarkan pembacaan sensor, dengan rata-rata tingkat kesalahan pengukuran di bawah 2%, yang menunjukkan kestabilan dan keandalan sistem dalam pengoperasian.

Namun, penggunaan air aki sebagai media simulasi menjadi keterbatasan tersendiri dalam merepresentasikan karakteristik kimia dan fisik dari asam sulfat murni. Oleh karena itu, diperlukan pengujian lanjutan menggunakan cairan aktual dan material tahan korosi untuk validasi dalam konteks industri. Sebagai pengembangan lebih lanjut, sistem ini dapat ditingkatkan dengan penambahan modul komunikasi nirkabel untuk pemantauan jarak jauh serta fitur kalibrasi otomatis guna menjaga akurasi dan reliabilitas sistem dalam jangka panjang.

DAFTAR REFERENSI

- Aji, C. S., & Pangestu, A. F. (2021). Speaker monitor dengan antarmuka LCD digital. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 5(3), 6752–6758.
- Apriyanto, H. (2015). Rancang bangun pintu air otomatis menggunakan water level float switch berbasis mikrokontroler. *Jurnal Sisfokom (Sistem Informasi dan Komputer)*, 4(1), 22–27. <https://doi.org/10.32736/sisfokom.v4i1.132>
- Arifin, T. N., Pratiwi, G. F., & Janrafsasih, A. (2022). Sensor ultrasonik sebagai sensor jarak. *Jurnal Tera*, 2(2), 55–62.
- Artanto, D. (2009). Merakit PLC dengan mikrokontroler. Elex Media Komputindo.

- Fitriyanto, I., Amri, F., & Robiyanto, R. (2024). Desain meteran air prabayar berbasis sensor YF-S201 dengan generator air mini sebagai catu daya. *Jurnal Amplifier: Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro dan Komputer*, 14(2), 168–173. <https://doi.org/10.33369/jamplifier.v14i2.37185>
- Kartiria, K., Erhaneli, E., & C. Y. W. (2021). Penerapan mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai monitoring pada pembacaan arus 3 phasa di gardu induk 150 kV Lubuk Alung. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(1), 37–45.
- Muamaroh, N., & Christanto, F. W. (2024). Pengukur penggunaan air otomatis menggunakan water flow sensor YF-S201 dan NodeMCU ESP8266 berbasis IoT. *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*, 8(1), 88. <https://doi.org/10.26798/jiko.v8i1.1104>
- Onyinyechukwu, C. (2023). Design, analysis and remote monitoring of a solar powered orphan oil well pumping system in Nigeria [Master's thesis, Memorial University of Newfoundland]. <https://doi.org/10.48336/QRXW-GN85>
- Petru, L. T., Tivlea, M. V., & Popa, S. E. (2023). Water level control and monitoring system in a tank made with Arduino Uno and NodeMCU ESP8266 development boards. Preprints. https://www.preprints.org/frontend/manuscript/680b0662a1e51dd33f670a2d812386fb/download_pub
- Prastyo, E. A. (2018). Software Arduino IDE.
- Prastyo, E. A. (2024). Arduino Mega 2560: Fitur dan kinerja.
- Sangeetha, T., & Periyathambi, E. (2024). Automatic nutrient estimator: Distributing nutrient solution in hydroponic plants based on plant growth. *PeerJ Computer Science*. <https://peerj.com/articles/cs-1871/>
- Santoso, H. (2015). Cara kerja sensor ultrasonik, rangkaian, & aplikasinya.
- Sarwar, A. (2022). Design and analysis of a solar water pumping for a fish farm in Pakistan [Master's thesis, Memorial University of Newfoundland]. <https://doi.org/10.48336/8AGA-RZ14>
- Sugiyono. (2018). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D. Alfabeta.
- Sugiyono. (2019). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D. Alfabeta.
- Sularso, & Tahara, H. (2000). Pompa dan kompresor: Pemilihan, pemakaian dan pemeliharaan. PT Pradnya Paramita.
- Suleiman, R. (2023). Low-cost IoT-based water quality monitoring system for small-scale fish farmers in Nigeria [Master's thesis, Technikum Wien University of Applied Sciences]. <https://epub.technikum-wien.at/obvftwhsmmig/content/titleinfo/9746996/full.pdf>

- Wagino, & Arafat. (2018). Tombol untuk fungsi umum, dan sederetan menu: Software yang ditulis menggunakan Arduino dinamakan sketches. *Ilmiah Technologia*, 9(3), 192–196.
- Yudha, P. S. F., & Sani, R. A. (2017). Implementasi sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai sensor parkir mobil berbasis Arduino. *Jurnal Einstein*, 5(3), 19–26.