



SISTEM MONITORING Ph DAN TEMPERATUR PADA PROTOTYPE IPA BERBASIS PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER OUTSEAL

Jauharotul Maknunah¹, Karsid¹, Cokro Aminoto¹, Siti Rachel Sufyani¹

¹ Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Indramayu, Jl. Lohbener Lama No.08-Indramayu, 45252, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL	A B S T R A K
<p>Received: October 24, 2024 Revised: November 12, 2024 Available online: March 24, 2025</p>	<p>Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring suhu dan pH pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) menggunakan <i>Programmable Logic Controller</i> (PLC) Outseal dan <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> (SCADA). Sistem ini dirancang untuk memantau secara real-time parameter suhu dan pH air, serta memberikan peringatan saat parameter berada di luar batas yang ditentukan. Pengujian dilakukan melalui proses kalibrasi dan pengukuran dengan membandingkan hasil pembacaan sensor pH dan suhu dengan alat ukur digital. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem memiliki akurasi yang tinggi, dengan tingkat akurasi 94,99% untuk sensor pH dan 98,32% untuk sensor suhu, serta waktu respon yang cepat, kurang dari 2 detik. Sistem ini juga mampu mengintegrasikan data sensor dengan perangkat lunak SCADA untuk penyimpanan dan analisis data secara real-time. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan <i>platform</i> berbeda seperti Arduino dan Raspberry Pi, sistem berbasis PLC Outseal ini menunjukkan kinerja yang lebih unggul dalam hal akurasi, stabilitas, dan efisiensi. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan teknologi pengolahan air yang lebih canggih dan dapat diterapkan pada skala industri. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah pengembangan sistem dengan penambahan sensor kualitas air lainnya, serta integrasi teknologi <i>Internet of Things</i> (IoT) untuk pemantauan jarak jauh dan analisis data yang lebih mendalam.</p> <p>Kata kunci— PLC, SCADA, monitoring, pH, suhu, sensor, kalibrasi</p>
CORRESPONDENCE	A B S T R A C T
<p>E-mail: jauharotul@polindra.ac.id</p>	<p><i>This research aims to design and implement a temperature and pH monitoring system at a Water Treatment Plant (IPA) using an Outseal Programmable Logic Controller (PLC) and Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA). This system is designed to monitor in real-time the temperature and pH parameters of water, and provide warnings when the parameters are outside the specified limits. Testing is carried out through a calibration and measurement process by comparing the results of the pH and temperature sensor readings with a digital measuring instrument. The research results show that the system has high accuracy, with an accuracy rate of 94.99% for the pH sensor and 98.32% for the temperature sensor, as well as a fast response time, less than 2 seconds. This system is also capable of integrating sensor data with SCADA software for real-time data storage and analysis. Compared with previous studies using different platforms such as Arduino and Raspberry Pi, Outseal's PLC-based system shows superior performance in terms of accuracy, stability, and efficiency. It is hoped that this research can contribute to the development of more sophisticated water treatment technology that can be applied on an industrial scale. Suggestions for further research are system development with the addition of other water quality sensors, as well as integration of Internet of Things (IoT) technology for remote monitoring and more in-depth data analysis.</i></p> <p><i>Keywords— PLC, SCADA, temperature, monitoring, pH, sensor, calibration</i></p>

I. PENDAHULUAN

Penggunaan sistem monitoring berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) semakin berkembang di berbagai sektor industri, termasuk dalam pengelolaan kualitas air. Sistem ini memungkinkan pemantauan kondisi fisik dan kimia air secara *real-time*, yang sangat penting dalam menjaga mutu air pada instalasi pengolahan air (IPA) [1], [2]. Salah satu parameter penting dalam kualitas air adalah

suhu dan tingkat keasaman (pH), karena keduanya berpengaruh terhadap proses pengolahan dan keamanan air. Untuk mencapai pemantauan yang akurat dan efisien, diperlukan integrasi antara perangkat keras, seperti sensor suhu dan sensor pH, dengan perangkat lunak yang dapat mengolah data dan menampilkan hasil secara langsung [3], [4].

Saat ini, kondisi Instalasi Pengolahan Air (IPA) menghadapi berbagai tantangan, terutama dalam hal

pemantauan kualitas air yang masih dilakukan secara manual di banyak instalasi [5], [6]. Sistem manual ini rentan terhadap kesalahan manusia, keterlambatan pengambilan data, dan kurang efisien dalam merespons perubahan parameter secara *real-time*. Sebagai hasilnya, kualitas air yang diproduksi mungkin tidak konsisten, terutama dalam menjaga parameter penting seperti suhu dan pH dalam rentang yang optimal [6], [7], [8]. Banyak IPA yang belum sepenuhnya mengadopsi teknologi otomatisasi berbasis PLC dan SCADA, sehingga pemantauan dilakukan secara berkala dan tidak terus menerus [9], [10], [11]. Akibatnya, operator IPA sering kali terlambat mendeteksi masalah, yang dapat mengakibatkan gangguan pada proses pengolahan air dan potensi risiko kesehatan bagi masyarakat yang mengonsumsi air tersebut.

Dalam konteks teknologi monitoring berbasis PLC, saat ini menunjukkan bahwa berbagai jenis PLC telah berhasil diimplementasikan untuk memantau parameter lingkungan. Sistem berbasis PLC yang dikombinasikan dengan *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) menawarkan solusi yang andal untuk pemantauan *real-time* dan otomatisasi [12], seperti yang ditunjukkan dalam beberapa penelitian sebelumnya [13]. Misalnya, [10] mengembangkan sistem berbasis PLC untuk pemantauan pH dan suhu pada instalasi pengolahan air dengan menggunakan sensor analog yang menghasilkan akurasi tinggi. Studi ini juga mencatat bahwa penggunaan SCADA memungkinkan pengumpulan dan penyimpanan data secara *real-time* yang dapat diakses kapan saja. Selain itu, [9] menekankan pentingnya pengintegrasian PLC dengan antarmuka SCADA untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya operasional dalam pengelolaan air. Namun, penelitian mereka terbatas pada pengujian sensor dalam skala laboratorium.

Penelitian sebelumnya telah membuktikan keefektifan penggunaan PLC dalam pemantauan kondisi lingkungan, tetapi sebagian besar masih berfokus pada parameter tunggal atau tanpa integrasi optimal dengan sistem SCADA [14], [15], [16]. Sebagai contoh, [17] mengembangkan sistem berbasis PLC untuk memantau parameter suhu pada sistem pendingin industri, namun tidak melibatkan pengukuran parameter lain seperti pH, yang sangat penting dalam pengolahan air. Di sisi lain, [3] mengimplementasikan PLC untuk mengendalikan proses pengolahan air limbah, tetapi keterbatasan sistem hanya pada pemantauan suhu tanpa adanya integrasi perangkat lunak untuk visualisasi data yang memadai.

Dalam penelitian ini, PLC Outseal dipilih karena memiliki keunggulan yang membedakannya dari PLC pada umumnya. PLC Outseal didesain khusus dengan kemampuan modular dan fleksibilitas tinggi untuk pengembangan aplikasi industri, memungkinkan integrasi yang lebih efisien dengan sensor-sensor analog dan digital yang diperlukan dalam pemantauan kualitas air. Selain itu, PLC Outseal menyediakan kapasitas penyimpanan data yang lebih besar dan kompatibilitas yang baik dengan sistem SCADA, yang memudahkan penyimpanan data pemantauan secara *real-time* dan akses visualisasi data secara langsung. Perbedaan utama antara PLC Outseal dan PLC pada umumnya terletak pada kemampuannya yang lebih canggih dalam hal pengolahan data berkecepatan tinggi, respons yang lebih cepat, dan pengembangan sistem yang lebih

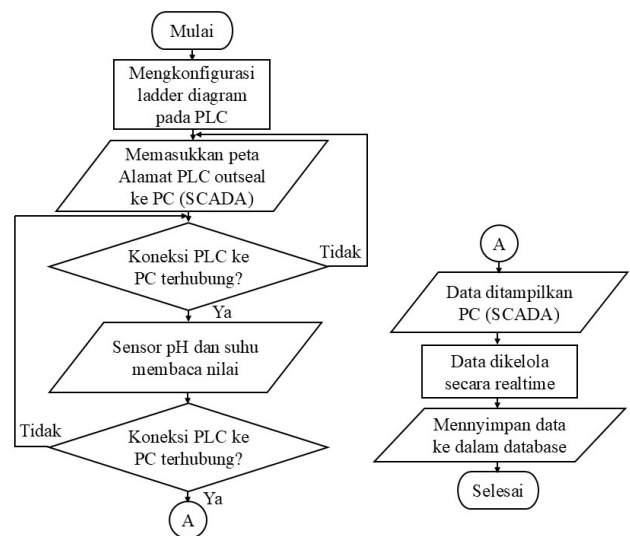
hemat biaya berkat arsitektur modular yang memudahkan perawatan dan peningkatan sistem di masa depan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengatasi keterbatasan tersebut dengan mengembangkan sistem monitoring terintegrasi berbasis PLC Outseal yang mampu memantau secara simultan dua parameter penting, yakni suhu dan pH. Sistem ini tidak hanya memantau secara *real-time*, tetapi juga menyimpan data hasil pemantauan menggunakan SCADA, memungkinkan visualisasi dan analisis yang lebih baik. Selain itu, penelitian ini juga berfokus pada pengujian akurasi sensor dan fungsionalitas sistem, termasuk kalibrasi sensor analog, uji respons waktu, dan integrasi perangkat keras dengan perangkat lunak, yang belum banyak dibahas secara komprehensif dalam penelitian sebelumnya.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem monitoring air berbasis PLC yang lebih akurat dan efisien, serta memberikan peringatan dini jika parameter suhu dan pH melebihi batas yang diinginkan. Sistem ini diharapkan mampu meningkatkan kinerja IPA secara keseluruhan dengan meminimalkan kesalahan manual, mengoptimalkan proses pengolahan, dan menjaga kualitas air yang dihasilkan agar tetap sesuai standar kesehatan.

II. METODE PENELITIAN

Alur penelitian ini digambarkan melalui *flowchart* berikut yang ditunjukkan melalui Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Mulai dari pembuatan *ladder* diagram dan pengaturan dimulai dari kecocokan *comport* pada pembacaan *device* manager di PC ke PLC Outseal agar saling terhubung. Pemasukan peta alamat yang akan dihasilkan agar sesuai dengan alamat yang dituju, Koneksi PLC ke PC atau pembacaan alamat yang dikirimkan sesuai atau tidak, jika tidak maka dilakukan kembali pemasukan alamat yang sesuai dengan PLC Outseal ke Haiwell SCADA atau PC. Tapi jika iya maka dilanjut Pembacaan nilai suhu dan pH. Lalu nilai sensor akan tersedia jika tidak maka akan kembali lagi ke proses koneksi PLC ke PC atau jika iya data akan langsung dikelola secara real time dan bisa disimpan di database atau history Group.

Programmable Logic Controller Outseal pada pin A1 menuju sensor analog pH meter dan untuk lambang (A) dan untuk pin (-) sensor analognya terhubung dengan (G) dan (+) masuk pada 5V pada PLC Outseal. Sedangkan untuk sensor suhu LM35 itu hampir sama dengan sensor pH meter tetapi (A) pada sensor analog suhu itu terhubung dengan (A2) pada PLC dan pin (-) di sensor analog terhubung dengan (G) pada PLC Outseal yang tepat di sampingnya kirinya (A2). Dan PLC Outseal terhubung ke PC untuk memasukan *Ladder Diagram* untuk memproses pembacaan pada sensor analog yang nantinya akan dibaca.

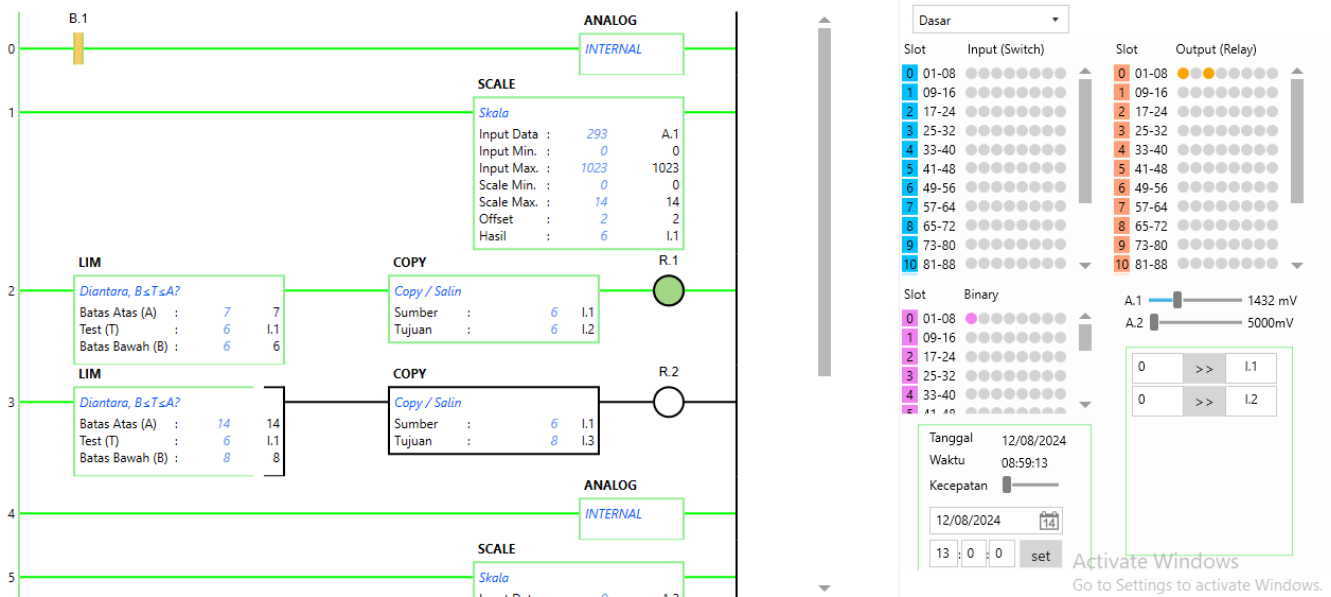
Setelah *wiring* kelistrikan kontrol sudah terpasang maka dilakukan pemasukan program ke PLC dari Outseal Studio.

Pengujian fungsionalitas sistem dilakukan untuk memastikan bahwa sistem monitoring suhu dan pH berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Pengujian ini mencakup beberapa aspek utama dari sistem, termasuk akurasi pengukuran, respon waktu, dan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak.

Kalibrasi sensor analog pH untuk memastikan akurasi pengukuran. Kalibrasi sensor analog pH memerlukan beberapa peralatan yaitu pH meter digital (alat pembanding), *buffer* solusi pH standar (pH 4,0 dan pH 6,86) dan *beaker* atau pengaduk.

Proses kalibrasi dimulai dengan persiapan sensor dan larutan *buffer*, lalu memastikan sensor pH dalam keadaan bersih dan menyiapkan *buffer* dengan pH standar. Selanjutnya menyalakan sistem pengukuran pH dan biarkan stabil selama beberapa menit kemudian sambungkan sensor analog pH ke sistem pengukuran dan pastikan koneksi baik. Membilas sensor air deionisasi dan mengeringkan dengan tisu bebas serat untuk kemudian mencelupkan sensor ke dalam *buffer* pH 6,86 dan mengaduk perlahan menggunakan pengaduk magnetik lalu menunggu hingga pembacaan stabil, Selanjutnya mengatur nilai pembacaan pada pH meter atau alat pembanding menjadi 6,86. Ini disebut proses standarisasi poin 1. Tegangan *output* dicatat dari sensor standarisasi 1.

Setelah itu, sensor dibilas dengan air deionisasi dan keringkan dengan tisu bebas serat untuk kemudian dicelupkan ke dalam *buffer* pH 4,0 dan aduk perlahan jika menggunakan pengaduk magnetik tunggu hingga pembacaan stabil, lalu atur nilai pembacaan pada pH meter atau alat pembanding menjadi 4,0. Ini disebut proses standarisasi poin 2. Data tegangan dicatat selama kalibrasi untuk membantu mengonversi tegangan yang diukur menjadi nilai pH untuk dibuatkan *ladder* pembacaan nilai pH menggunakan PLC Outseal seperti ditunjukkan melalui Gambar 2.



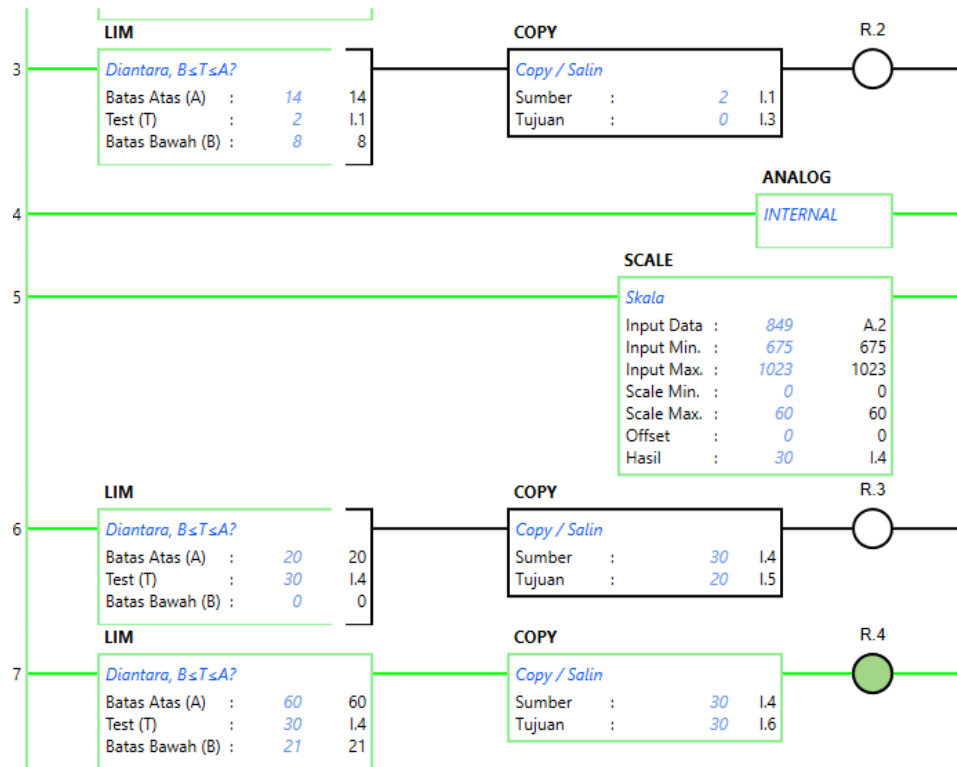
Gambar 2. Pembacaan Nilai pH pada PLC.

Kalibrasi sensor suhu hampir sama dengan sebelumnya dengan bantuan alat ukur yaitu thermometer dengan menempatkan posisi sensor dengan lingkungan yang berbeda dan ambil data dengan suhu yang berbeda tersebut kemudian pengaturan tegangan pada PLC Outseal Studio sesuaikan dengan hasil yang diinginkan sesuai dengan kondisi lingkungan [18], [19].

Pada Gambar 3, ditunjukkan hasil minimal tegangan arus yang masuk untuk sensor suhu adalah 675 dengan maksimal 1023.

Pengoperasian sensor analog dari pH meter yang dimana pada input data yang masuk sensor analog itu di terima pada pin PLC Outseal A1 dengan skala *input* minimal dari 0-1023 pada *input max* itu adalah rasio 5V dari pembacaan nilai

ADC (*Analog Digital Converter*). Skala minimal dari pembacaan itu nilainya di mulai dari 0 hingga dengan skala maksimalnya itu sampai 14. Yang nantinya hasil itu akan muncul yang akan dibaca pada *integer* I.1 [20].



Gambar 3. Pembacaan nilai suhu di PLC.

Setelah pemrograman ladder diagram ke PLC Outseal sudah, selanjutnya perlu adanya pengintegritasan ke software SCADA untuk mengumpulkan semua data dari nilai yang masuk nantinya dan disimpan. Dengan memasukan peta alamat modbus dari PLC Outseal ke Haiwell SCADA server untuk membantu dan memudahkan pengambilan data. Setelah proses pengiriman ladder diagram di outseal studio ke PLC sudah maka pembacaan nilai pH dan suhu ke PC melalui SCADA untuk pembacaan dari nilainya dengan pengumpulan data dari nilai [21].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kalibrasi sensor suhu dan pH ditunjukkan melalui tabel 1 dan tabel 2.

TABEL I. HASIL KALIBRASI SENSOR PH

No	Waktu	pH		Akurasi (%)	Error (%)
		Alat ukur Ph Digital	Sensor Ph Sistem		
1	22:53	4.35	4	92	8
2	01:53	6.15	6	97,6	2,4
3	04:53	6.78	6	89	11
4	07:53	4.01	4	99,8	0,2
5	10:53	6.26	6	95,9	4,1
6	13:53	4.27	4	93,7	6,3
7	16:53	4.01	4	99,8	0,2
8	19:53	6.43	6	93,4	6,6
9	22:53	4.27	4	93,7	6,3
Rata-rata				94,99	5,01

perbandingan nilai dari sensor pH digital dengan hasil nilai pengukuran pembacaan sensor analog pH, untuk program pembacaan sensor menggunakan konversi nilai analog yang diterima menjadi pH mulai dari 0 sampai dengan 14. Pengujian dilakukan selama 3 jam dalam 24 jam, pengujian ini dilakukan sebanyak 9 sampel. Akurasi ketepatan pembacaan sensor hampir mendapatkan nilai 100% dengan lebih tepatnya mendapatkan nilai 94,99% dengan nilai error 5,01% dikarenakan kalibrasi sensor menggunakan metode trial dan error dengan acuan nilai pada sensor digital pH meter.

TABEL II. HASIL KALIBRASI SENSOR SUHU

No	Waktu	pH		Akurasi (%)	Error (%)
		Alat ukur Ph Digital	Sensor Ph Sistem		
1	22:53	27.7	27	97,5	2,5
2	01:53	25.1	25	99,7	0,3
3	04:53	24.2	24	99,2	0,8
4	07:53	27.9	27	96,8	3,2
5	10:53	30.5	30	98,4	1,6
6	13:53	31.6	31	98,2	1,8
7	16:53	30.4	30	98,7	1,3
8	19:53	29.8	29	97,4	2,6
9	22:53	27.3	27	99	1
Rata-rata				98,32	1,68

pengujian keakuratan dan error pembacaan sensor suhu lingkungan dengan menggunakan sensor LM35. Pengujian dilakukan dengan pengambilan data suhu ruangan menggunakan sensor LM35 dan langsung dibandingkan dengan termometer ruangan. Pengujian dilakukan sebanyak

9 sampel dengan waktu 3 jam dalam sehari. Akurasi ketepatan pembacaan sensor mendapatkan nilai hampir 100% lebih tepatnya 98,32% dengan *error* 1,68%. Sensor suhu LM35 mengirimkan sinyal analog dengan spesifikasi akurasi: $\pm 0.5^{\circ}\text{F}$ pada 77°F (25°C).

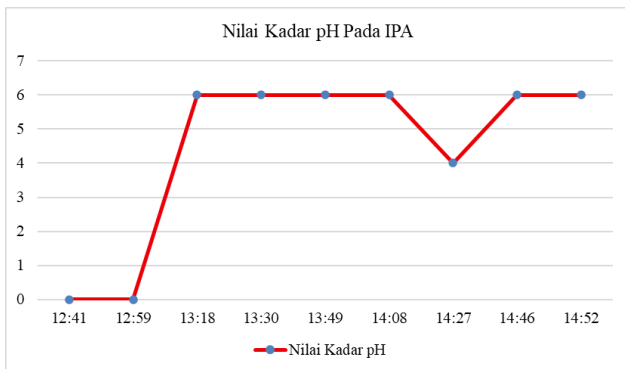
Selain itu, diuji pula keseluruhan sistem untuk sensor analog suhu LM35, Sensor analog pH, *Delay* sistem pembacaan dengan *display* serta sistem alarm atau Peringatan yang ditunjukkan melalui tabel 3.

TABEL III. PENGUJIAN KESELURUHAN SISTEM

Aspek yang diuji	Metode pengujian	Hasil	keterangan
Sensor suhu	Perbandingan termometer	98,32% akurat	Acuan dengan nilai pada termometer
Sensor pH	<i>Trial</i> dan <i>error</i>	94,99% akurat	Acuan nilai pada sensor pH meter digital
<i>Delay</i>	Pengujian integrasi	<2 detik	Respon lumayan cepat
Peringatan	Simulasi Kondisi	Lampu indikator menyala	Peringatan dikirim saat nilai abnormal

Akurasi dari masing masing sensor memiliki akurasi yang berbeda karena dalam penyesuaian pembacaan pada monitor tidak menunjukkan data yang akurat 100% dengan perbandingan alat ukur digital. Respon waktu sistem yang sangat cepat, dengan waktu respon kurang dari 2 detik memastikan bahwa data ditampilkan secara *real-time*. Integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak berjalan dengan baik tanpa adanya gangguan komunikasi. Fungsi peringatan bekerja dengan baik, mengirimkan lampu sinyal yang menyala saat nilai suhu dan pH ada diluar batas yang ditentukan.

Setelah dilakukan kalibrasi dan pengujian, selanjutnya sistem diimplementasikan pada *prototype* IPA. Data hasil sistem monitoring pH dan suhu pada *Prototype* Instalasi Pengolahan Air berbasis *Programmable Logic Controller* Outseal ditunjukkan melalui grafik pada gambar 4 dan 5.

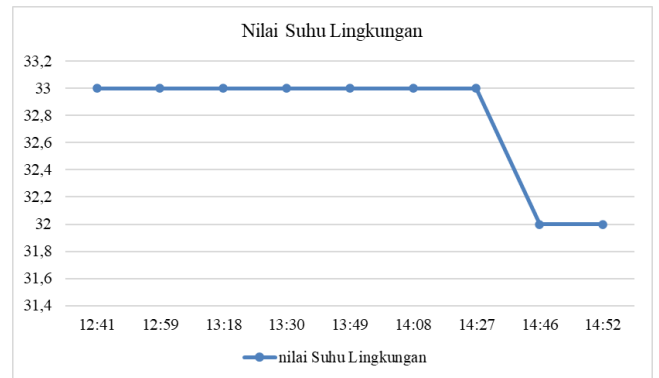


Gambar 4. Grafik hasil monitoring nilai pH pada IPA

Pada awal di jam 12:41 nilai yang dibaca oleh Sensor pH masih menunjukkan angka 0 dan pada 13:04 nilai dari kadar

pH pada air sudah menunjukkan angka 6, dan pada 14:22 terjadi penurunan nilai kadar pH menunjukkan nilai kadar pH 4, dan pada waktu 14:45 nilai pH kembali normal di angka 6. Penurunan nilai pH yang terjadi pada pukul 14:27 disebabkan oleh penambahan zat penurun pH atau bahan kimia asam yang sengaja ditambahkan untuk menurunkan pH air sesuai dengan kebutuhan proses pengolahan. Setelah penambahan zat penurun pH, sistem kontrol yang berbasis SCADA dan PLC mendeteksi perubahan ini dan melakukan pemantauan secara *real-time*.

Setelah penurunan, nilai pH kembali stabil dalam beberapa menit. Hal ini bisa disebabkan oleh sistem otomatisasi yang mengatur penyesuaian aliran bahan kimia secara bertahap, sehingga nilai pH dapat kembali ke kisaran normal yang diharapkan. Kemungkinan lainnya adalah adanya proses pencampuran air secara menyeluruh dalam tangki yang membuat nilai pH menyebar secara merata, sehingga mengembalikan pH ke angka yang lebih stabil.



Gambar 5. Grafik hasil monitoring nilai suhu pada IPA

Terdapat pada nilai suhu lingkungan pada *prototype* instalasi Pengolahan Air itu menunjukkan nilai tetap di 33°C di jam 12:41 sampai dengan 14:32, hingga pada 14:33 suhu menunjukkan nilai 32°C hingga pada jam 14:52.

IV. PEMBAHASAN

Hasil pengujian sistem monitoring suhu dan pH berbasis PLC Outseal pada penelitian ini menunjukkan kinerja yang unggul, terutama dalam hal akurasi dan respon waktu. Dengan tingkat akurasi 94,99% untuk sensor pH dan 98,32% untuk sensor suhu, sistem ini terbukti efektif untuk aplikasi monitoring kualitas air pada Instalasi Pengolahan Air (IPA). Jika dibandingkan dengan kajian-kajian sebelumnya, beberapa temuan menarik muncul dalam hal performa sistem serta inovasi yang diterapkan.

Penelitian sebelumnya oleh Hamidi et al. (2021) menggunakan sensor pH dan suhu pada sistem SCADA berbasis Arduino menunjukkan akurasi yang lebih rendah, dengan tingkat error sebesar 10% untuk sensor pH dan 5% untuk sensor suhu. Perbedaan ini sebagian besar disebabkan oleh platform yang digunakan, di mana PLC Outseal yang diterapkan dalam penelitian ini memiliki kemampuan lebih tinggi dalam menangani sinyal analog secara akurat. Penggunaan *ladder* diagram pada PLC Outseal juga memberikan fleksibilitas dalam penyesuaian sinyal sensor, yang berkontribusi pada peningkatan akurasi secara keseluruhan.

Selain itu, dalam kajian lain oleh Setiawan et al. (2022), mereka menggunakan sensor yang sama (LM35 untuk suhu

dan sensor pH) namun dengan sistem berbasis Raspberry Pi dan Python untuk pemrosesan data. Hasil mereka menunjukkan akurasi 95% untuk sensor pH dan 97% untuk sensor suhu. Meskipun hasilnya mendekati, sistem berbasis PLC dalam penelitian ini menunjukkan waktu respon yang lebih cepat (kurang dari 2 detik), dibandingkan waktu respon yang dilaporkan dalam penelitian Setiawan et al., yaitu 4 detik. Keunggulan dalam respon waktu ini penting, terutama dalam aplikasi pengolahan air yang memerlukan pemantauan *real-time* untuk memastikan kualitas air tetap stabil.

Sistem alarm atau peringatan yang diintegrasikan dalam penelitian ini juga menunjukkan performa yang baik, di mana lampu indikator menyala ketika parameter suhu dan pH berada di luar batas yang ditentukan. Hal ini konsisten dengan temuan dari penelitian Kartika et al. (2020), di mana sistem alarm berbasis SCADA digunakan untuk memonitor kondisi lingkungan, meskipun dalam penelitian Kartika dkk, peringatan yang digunakan berbasis notifikasi SMS dengan waktu respon yang lebih lambat. Pendekatan yang diadopsi dalam penelitian ini lebih cepat dan andal karena peringatan segera diterima oleh operator melalui sinyal visual dan data langsung yang ditampilkan dalam sistem SCADA.

Dari segi kalibrasi, penelitian ini juga berhasil menunjukkan hasil yang lebih baik dalam pengukuran pH setelah proses standarisasi dua titik (*buffer* pH 4,0 dan 6,86). Ini berbeda dengan pendekatan yang digunakan dalam penelitian Siregar et al. (2020), di mana mereka menggunakan kalibrasi satu titik pada pH 7, yang cenderung menghasilkan tingkat *error* yang lebih tinggi (hingga 12%). Penggunaan kalibrasi dua titik yang lebih tepat dalam penelitian ini mampu meningkatkan akurasi sensor pH dengan signifikan, khususnya pada nilai pH rendah dan tinggi.

Dengan membandingkan hasil penelitian ini terhadap kajian-kajian sebelumnya, terlihat bahwa integrasi antara PLC Outseal dan SCADA memberikan keunggulan dalam hal akurasi, respon waktu, dan reliabilitas sistem. Hal ini menunjukkan bahwa sistem berbasis PLC lebih stabil dan cocok untuk aplikasi yang memerlukan monitoring dan kontrol otomatisasi di bidang pengolahan air. Adapun, beberapa penelitian lain yang menggunakan platform alternatif seperti Arduino dan Raspberry Pi cenderung memiliki keterbatasan dalam hal kapasitas pemrosesan sinyal dan stabilitas komunikasi, yang berdampak pada kinerja sistem secara keseluruhan.

Secara keseluruhan, penelitian ini tidak hanya mendukung kajian sebelumnya tetapi juga memperluas cakupan aplikasi teknologi SCADA dan PLC dalam sistem pengolahan air dengan memberikan bukti empiris tentang keunggulan akurasi dan efisiensi sistem yang dihasilkan. Implementasi ini juga membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut dalam pemantauan parameter kualitas air lainnya, seperti tingkat konduktivitas dan total padatan terlarut (TDS), yang dapat menjadi fokus penelitian berikutnya.

V. PENUTUP

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring suhu dan pH berbasis PLC Outseal dan SCADA pada Instalasi Pengolahan Air (IPA). Hasil pengujian menunjukkan bahwa

sistem memiliki akurasi tinggi, dengan akurasi 94,99% untuk sensor pH dan 98,32% untuk sensor suhu, serta waktu respon yang cepat, kurang dari 2 detik. Sistem ini juga dilengkapi dengan mekanisme peringatan yang dapat secara efektif menginformasikan operator ketika parameter berada di luar batas yang ditentukan. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, pendekatan berbasis PLC dalam penelitian ini memberikan performa yang lebih baik dalam hal akurasi, stabilitas, dan keandalan sistem monitoring.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah mengembangkan sistem ini dengan menambahkan sensor-sensor lain, seperti sensor konduktivitas dan total padatan terlarut (TDS), untuk pemantauan parameter kualitas air yang lebih komprehensif. Selain itu, integrasi sistem kontrol otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) dapat menjadi langkah selanjutnya untuk meningkatkan efisiensi monitoring jarak jauh secara *real-time*. Penelitian selanjutnya juga disarankan untuk mengeksplorasi penggunaan teknologi machine learning dalam analisis data sensor untuk prediksi dan optimasi proses pengolahan air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang mendukung terwujudnya hasil penelitian ini, terutama dari Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Indramayu (Polindra) yang telah mensponsori penelitian kami di Kelompok Bidang Keahlian Instrumentasi dan Kontrol melalui skema hibah PUKTI-SIPASTI tahun anggaran 2024.

REFERENSI

- [1] R. F. Ningrum, R. R. A. Siregar, and D. Rusjdi, "Penerapan Sistem SCADA Dalam Perancangan Model Inferensi Logika Fuzzy Mamdani Pada Pembebanan Trafo Gardu Distribusi," *Petir*, vol. 13, no. 2, pp. 110–118, 2020, doi: 10.33322/petir.v13i2.1001.
- [2] H. D. Wahjono, "Disain Sistem Scada Di Instalasi Pengolahan Air Bersih Untuk Kebutuhan Domestik Di Suatu Kawasan Industri," *J. Air Indones.*, vol. 4, no. 1, pp. 56–68, 2008, doi: 10.29122/jai.v4i1.2395.
- [3] N. Azimah Salehah, Q. Miladial Hikmah, and E. Ekawati, "Perancangan Dan Implementasi Aktuator Sistem Kontrol Ph Menggunakan on-Off Solenoid Valve Pada Purwa Rupa Instalasi Pengolahan Limbah Tekstil," in *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018*, 2018, pp. 241–246. doi: 10.5614/sniko.2018.28.
- [4] R. Mubarak, H. Zarrory, A. Ullah, and A. Faizal, "Sistem Monitoring Ph Air Kolam Ikan Lele Menggunakan Sensor Bgt-D718-Ph dan PLC Outseal Berbasis Internet of Things," *Build. Informatics ...*, vol. 6, no. 1, pp. 325–333, 2024, doi: 10.47065/bits.v6i1.5387.
- [5] D. F. Akbar, G. F. Tambunan, S. I. Bohal Siringoringo, R. N. Warnata, A. Irawan, and R. W. Abdul Rozak, "Implementasi Dan Perkembangan Sistem Scada Di Industri: Tinjauan Dari Sudut Pandang Pakar," *J. Pengabd. Masy. Pemberdayaan, Inov. dan Perubahan*, vol. 3, no. 3, pp. 122–129, 2023, doi: 10.59818/jpm.v3i3.514.
- [6] D. Ardiatma and Sudarso, "PERENCANAAN BANGUNAN PENGOLAHAN AIR MINUM DESA PASIRANJL," *J. Teknol. dan Pengelolaan Lingkungan*, vol. 2, no. 2, pp. 1–17, 2015.
- [7] M. D. A. Suryawan, "MANAJEMEN OPERASIONAL PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR (IPA) UNIT HEGARMUKTI YAYASAN EKAMITRA NUSANTARA," *J. Teknol. dan Pengelolaan Lingkungan*, vol. 2, no. 2, pp. 53–69, 2015.
- [8] Wardika, F. Sugara, Ismail, and J. Maknunah, "Pengaruh Varietas Cabai Terhadap Kinerja Prototipe Cold Room," *J. Rekayasa Energi*, vol. 3, no. 1, pp. 33–40, 2024, doi: 10.31884/jre.v3i1.56.
- [9] S. Surdianto, D. Riyanto, and J. S. Habiby, "Alat Kontrol Kualitas Produksi Air Minum Berbasis PLC Outseal," *J-Eltrik*, vol. 4, no. 1, pp. 18–24, 2022, doi: 10.30649/je.v4i1.106.
- [10] Ruwanto, D. Ridwan, A. A. Masriwilaga, H. Kabir, and D. Komaludin, "Implementasi Sistem SCADA Untuk Proses Koagulasi

- Pada Instalasi Pengolahan Air Berbasis PLC Schneider M221 dan HMI Weintek,” *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 11, no. 1, pp. 74–83, 2023, doi: 10.34010/telekontran.v11i1.10658.
- [11] J. Maknunah, A. Musyafa, I. Abadi, and D. N. Fitriyanah, *Modification Design of Solar Tracker and MPPT on Photovoltaic Systems using PSO based Fuzzy Type-2 Controller*, vol. 2023. Atlantis Press International BV, 2024. doi: 10.2991/978-94-6463-364-1_84.
- [12] M. Alpan and F. Hadary, “Perancangan Simulator Panel Kran Lumpur Otomatis Menggunakan PLC AT16S0R Dan HMI Haiwell C7S,” *J. Teknol. Rekayasa Tek. Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 68–72, 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jtm/article/view/78619>
- [13] A. Ghifari, F. Heltha, Roslidar, Tarmizi, and A. Mufti, “Perancangan Sistem SCADA Pengendalian Sand Filter Pada Automasi Sistem Pengolahan Air Berbasis PLC,” vol. 7, no. 1, p. 2022, 2022.
- [14] I. B. Sulistiawati, A. Soetedjo, R. B. Putra, Sotyohadi, and S. Priyanto, “Penggunaan PLC Outseal dan Haiwell Hmi Scada untuk Otomasi Pengontrolan Daya dan Beban di Gedung Laboratorium Teknik Elektro ITN Malang Irrine,” in *Seminar Nasional 2023 Sinergitas Era Digital 5.0 dalam Pembangunan Teknologi Hijau Berkelanjutan*, 2023, pp. 230–236.
- [15] S. Cairone *et al.*, “Revolutionizing wastewater treatment toward circular economy and carbon neutrality goals: Pioneering sustainable and efficient solutions for automation and advanced process control with smart and cutting-edge technologies,” *J. Water Process Eng.*, vol. 63, p. 105486, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105486>.
- [16] A. E. Eryantono, M. N. Fauzi, and M. Fathurrohman, “Sistem Monitoring Temperatur Tuang Logam dan Penggunaan Energi Berbasis IoT di MIDC,” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 9, no. 2, pp. 123–131, 2020, doi: 10.22146/jnteti.v9i2.106.
- [17] A. Setiawan, Sugeng, K. I. Koesoema, S. Bakhri, and J. Aditya, “The SCADA system using PLC and HMI to improve the effectiveness and efficiency of production processes,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/550/1/012008.
- [18] F. P. E. Putra, M. A. Mahmud, and Iksya Syariifal Maqom, “Pengembangan Sistem Pemantauan Lingkungan Berbasis Internet of Things (IoT) di Kampus,” *Digit. Transform. ...*, vol. 3, no. 2, pp. 996–1001, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.itscience.org/index.php/digitech/article/view/3457>
- [19] H. M. Yasin, S. R. M. Zeebaree, and I. M. I. Zebari, “Arduino Based Automatic Irrigation System: Monitoring and SMS Controlling,” in *4th Scientific International Conference Najaf, SICN 2019*, IEEE, 2019, pp. 109–114. doi: 10.1109/SICN47020.2019.9019370.
- [20] Mastang, M. A. Pahmi, and Norhana Arsad, “Pemantauan programmable logic controller berbasis internet of things dengan menggunakan sistem notifikasi,” *TEKNOSAINS J. Sains, Teknol. dan Inform.*, vol. 10, no. 2, pp. 236–243, 2023, doi: 10.37373/tekno.v10i2.487.
- [21] B. Herdiana, E. B. Setiawan, and U. Sartoyo, “Tinjauan Komprehensif Evolusi, Aplikasi, dan Tren Masa Depan Programmable Logic Controllers,” *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 11, no. 2, pp. 173–193, 2023, [Online]. Available: <https://ojs.unikom.ac.id/index.php/telekontran/article/view/12896%0Ahttps://ojs.unikom.ac.id/index.php/telekontran/article/download/12896/4459>