

Sistem IoT Untuk Monitoring dan Pengendalian Kekeruhan Air Pada Kolam Renang dengan Pemberian Kaporit Otomatis Berbasis *Web Dashboard*

Pramudya Yodhantara^{1*}, Rudi Susanto², Joni Maulindar³

^{1*,2,3}*Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Duta Bangsa Surakarta*

**Email: pyodhantara@gmail.com*

Abstract

Swimming pool water requires strict quality monitoring to meet physical health standards as stipulated in Ministry of Health Regulation No. 2 of 2023, particularly regarding the turbidity parameter. On-site swimming pool water quality testing is currently dominated by periodic conventional methods, in which disinfectant dosage regulations are based solely on the operator's subjective estimates. Consequently, this leads to uncertainty in chemical dosing, which risks triggering dermatological irritation due to chlorine saturation or reduced water clarity due to a shortage of cleaning agents. This study aims to design and build a prototype automation system based on the Internet of Things (IoT) to monitor and control swimming pool water turbidity in real-time. The research method used is the prototype development method. This system integrates a turbidity sensor to measure turbidity levels, an ESP32 microcontroller as the main processing unit, and an automatic dosing pump as the chlorine control actuator using a closed-loop control system approach. Monitoring data is transmitted via serial communication to a local Flask server, stored in a database, and dynamically visualized through a web dashboard based on the Tailwind CSS framework with a data update interval of every 3 seconds. Test results show that the system is capable of accurately reading water turbidity levels and automatically activating the chlorine pump when turbidity values exceed the standard threshold.

Keywords: *Internet of Things, water turbidity, turbidity sensors, automatic chlorine dosing, web dashboard*

Abstrak

Air kolam renang memerlukan pengawasan kualitas yang ketat agar memenuhi standar kesehatan fisik berdasarkan Permenkes No. 2 Tahun 2023, salah satunya pada parameter kekeruhan (*turbidity*). Uji kualitas air kolam renang di lapangan saat ini masih didominasi oleh metode konvensional secara periodik, di mana regulasi takaran disinfektan hanya berbasis pada estimasi subjektif operator. Dampaknya, muncul ketidakpastian sediaan kimia yang berisiko memicu iritasi dermatologis akibat saturasi kaporit, ataupun penurunan opasitas air akibat defisit zat pembersih. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun prototipe sistem otomatisasi berbasis *Internet of Things* (IoT) guna memantau serta mengendalikan kekeruhan air kolam renang secara *real-time*. Metode penelitian yang digunakan adalah metode pengembangan *prototype*. Sistem ini mengintegrasikan sensor *turbidity* sebagai pengukur tingkat kekeruhan, mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses utama, dan pompa *dosing* otomatis sebagai aktuatur pengendali kaporit dengan pendekatan *closed-loop control system*. Data monitoring dikirim melalui komunikasi serial menuju server lokal Flask, disimpan ke dalam *database*, dan divisualisasikan secara dinamis melalui *web dashboard* berbasis *framework* Tailwind CSS dengan interval pembaruan data setiap 3 detik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca tingkat kekeruhan air secara presisi dan secara otomatis mengaktifkan pompa kaporit saat nilai kekeruhan melampaui ambang batas standar keamanan. Integrasi *framework* Tailwind CSS pada *frontend* berhasil menghasilkan antarmuka monitoring yang responsif, interaktif, dan ringan saat diakses melalui berbagai perangkat desktop maupun seluler.

Kata kunci: *Internet of Things, kekeruhan air, sensor turbidity, kaporit otomatis, web dashboard*

1. Pendahuluan

Menjamin higienitas ruang rekreasi air memerlukan kepatuhan rigid terhadap baku mutu fisik yang diamanatkan dalam Permenkes No. 2 Tahun 2023. Parameter transparansi air menjadi indikator vital, di mana tingkat kekeruhan (*turbidity*) secara absolut tidak boleh melampaui ambang batas kritikal 0,5 NTU demi meminimalkan agen patogen tersembunyi. Kendala utama yang sering dihadapi oleh pengelola kolam renang saat ini adalah proses pemantauan kualitas air yang masih dilakukan secara manual dan berkala menggunakan alat ukur konvensional. Selain itu, proses penentuan dosis pemberian kaporit (*chlorine*) sering kali hanya mengandalkan perkiraan subjektif dari petugas. Hal tersebut memicu risiko kesehatan yang signifikan, seperti iritasi mata dan kulit akibat kelebihan dosis kaporit, atau sebaliknya, air menjadi cepat keruh dan menjadi sarang bakteri akibat kekurangan dosis kaporit.

Sejalan dengan perkembangan teknologi, penerapan *Internet of Things* (IoT) telah banyak digunakan untuk meningkatkan efektivitas pemantauan kualitas air pada berbagai sektor perairan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa IoT dapat dimanfaatkan untuk memperoleh data kondisi perairan secara lebih cepat dan berkelanjutan [1], [2]. Namun, mayoritas sistem yang dikembangkan masih berorientasi pada fungsi monitoring atau penyampaian informasi kondisi lingkungan tanpa dilengkapi mekanisme aksi koreksi otomatis terhadap perubahan kondisi air secara *real-time* [3], [4]. Selain aspek pengendalian, visualisasi data pada beberapa penelitian terdahulu masih menggunakan platform pihak ketiga atau antarmuka web yang memiliki keterbatasan dalam fleksibilitas dan responsivitas ketika diakses melalui perangkat seluler. Kondisi tersebut menunjukkan adanya peluang pengembangan sistem yang tidak hanya mampu melakukan pemantauan, tetapi juga mengintegrasikan proses pengendalian dan penyajian informasi dalam satu sistem yang terintegrasi.

Beberapa penelitian terdahulu dapat menjadi landasan dalam pengembangan sistem monitoring dan pengendalian kualitas air. Pekuwali dan Ratu [5] menginisiasi integrasi logika *fuzzy mamdani* untuk melacak fluktuasi termal, keasaman, dan tingkat opasitas kolam renang berbasis telemetri Telegram. Penelitian tersebut menunjukkan pemanfaatan metode komputasi untuk mengidentifikasi kondisi kualitas air kolam renang, tetapi fungsionalitasnya masih berada pada tahap pelaporan kondisi (*early warning*) dan belum diperluas ke arah remediasi otomatis melalui suplai desinfektan adaptif.

Sari dan Fata [6] merancang sistem pemantauan dan pengendalian kekeruhan berbasis IoT untuk proses pengolahan air bersih. Integrasi sensor *turbidity* pada penelitian tersebut telah mampu digunakan untuk mengendalikan kekeruhan secara otomatis. Meskipun demikian, penelitian tersebut belum mengkaji analisis akurasi sensor secara mendalam serta belum mengintegrasikan *web dashboard* interaktif yang memungkinkan pengguna melakukan pengaturan parameter sistem. Hal ini menunjukkan bahwa aspek akurasi pengukuran dan penyajian informasi melalui antarmuka pengguna masih dapat dikembangkan lebih lanjut.

Pada objek yang berbeda, Latukolan dan Wastumirad [7] merancang sistem monitoring kualitas air sungai berbasis aplikasi *smartphone* secara *real-time*. Sistem tersebut memberikan kemampuan bagi pengguna untuk melakukan pemantauan kondisi air dari jarak jauh. Namun, penelitian tersebut masih terbatas pada fungsi monitoring dan belum dilengkapi mekanisme kontrol otomatis yang dapat memberikan respons terhadap perubahan parameter kualitas air. Sementara itu, Ramadhan dkk. [8] mengombinasikan sensor pH dan *turbidity* untuk mendeteksi kelayakan air minum kemasan dan isi ulang. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa sensor *turbidity* dapat dimanfaatkan untuk membaca parameter fisik air, tetapi belum mengintegrasikan teknologi IoT untuk pemantauan jarak jauh maupun

sistem kontrol otomatis sebagai mekanisme perbaikan kualitas air.

Penelitian lain oleh Idhan [9] mengkaji pemanfaatan IoT dalam monitoring air tambang dan menunjukkan bahwa penerapan teknologi tersebut dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan lingkungan. Meskipun demikian, penelitian tersebut belum mencakup aspek pengendalian kekeruhan secara otomatis serta belum secara khusus menganalisis performa sensor *turbidity*. Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, dapat dilihat bahwa teknologi IoT telah memiliki potensi yang kuat untuk mendukung proses monitoring kualitas air, tetapi masih terdapat ruang pengembangan pada aspek integrasi antara sensor, mekanisme pengendalian otomatis, analisis hasil pengukuran, dan visualisasi data dalam satu sistem.

Berdasarkan permasalahan dan keterbatasan penelitian terdahulu tersebut, penelitian ini mengembangkan sebuah prototipe sistem otomatisasi berbasis IoT yang tidak hanya berfungsi sebagai sistem monitoring, tetapi juga menerapkan mekanisme *closed-loop control system* untuk memberikan respons terhadap perubahan tingkat kekeruhan air kolam renang. Sistem ini mengintegrasikan sensor *turbidity* sebagai pengukur tingkat kekeruhan dan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses utama. Ketika sensor mendeteksi nilai kekeruhan melampaui ambang batas yang telah ditentukan berdasarkan hasil kalibrasi, sistem secara otomatis mengaktifkan aktuator berupa pompa *dosing* kaporit. Dengan demikian, hasil pembacaan sensor tidak hanya digunakan sebagai informasi monitoring, tetapi juga menjadi dasar pengambilan keputusan oleh sistem untuk menjalankan aktuator.

Selain mekanisme monitoring dan pengendalian, penelitian ini mengintegrasikan penyimpanan data ke dalam basis data relasional dan menyajikan informasi melalui *responsive web dashboard* berbasis *framework* Tailwind CSS. Dashboard dirancang untuk menampilkan kondisi hasil pengukuran dan status aktuator dengan pembaruan data setiap 3 detik. Integrasi tersebut memungkinkan data

monitoring terdokumentasi dan dapat digunakan untuk melihat perubahan kondisi air dari waktu ke waktu. Dengan pendekatan tersebut, sistem diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pengawasan, meminimalkan ketergantungan terhadap proses pemantauan manual, serta mempermudah pengelola dalam memperoleh informasi kondisi air secara jarak jauh melalui antarmuka yang modern dan informatif.

Dengan demikian, perbedaan utama penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya terletak pada integrasi antara monitoring kekeruhan secara nirkabel, pengendalian otomatis menggunakan dosing pump kaporit, analisis pembacaan sensor *turbidity*, penyimpanan data, serta visualisasi melalui web dashboard pada objek kolam renang. Pendekatan tersebut dirancang sebagai satu kesatuan *closed-loop system*, sehingga data hasil pengukuran sensor dapat digunakan sebagai dasar bagi sistem untuk memberikan respons otomatis terhadap kondisi yang terdeteksi.

2. Metode Penelitian

2.1. Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian rancang bangun sistem IoT untuk monitoring dan pengendalian kekeruhan air kolam renang ini dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu:

2.1.1. Data Primer

Data primer diperoleh secara langsung dari hasil pengujian prototipe sistem. Data yang dikumpulkan meliputi nilai pembacaan sensor kekeruhan, hasil konversi tingkat kekeruhan dalam satuan *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU), status *relay*, durasi aktivasi *dosing pump*, serta waktu tunda (*delay*) pengiriman data dari mikrokontroler menuju server.

2.1.2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari dokumen resmi dan studi literatur yang digunakan sebagai dasar perancangan sistem. Data tersebut meliputi standar baku mutu kesehatan lingkungan untuk media air kolam renang berdasarkan Permenkes No. 2 Tahun 2023,

informasi mengenai karakteristik dan penggunaan kaporit, dokumentasi teknis komponen, serta penelitian terdahulu yang relevan dengan penerapan IoT dan sensor *turbidity* untuk pemantauan kualitas air.

2.2. Metode Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data untuk menunjang penyusunan artikel ilmiah ini dilakukan dengan empat teknik berikut:

2.2.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari sumber referensi yang berkaitan dengan penelitian, meliputi buku, modul mikrokontroler, dokumentasi teknis komponen, peraturan pemerintah, serta jurnal ilmiah nasional dan internasional periode 2021–2025. Literatur digunakan sebagai dasar dalam memahami karakteristik sensor *turbidity*, mikrokontroler ESP32, teknologi IoT, sistem kendali otomatis, serta standar kualitas air kolam renang.

2.2.2. Observasi

Observasi dilakukan untuk memperoleh gambaran kondisi objek penelitian dan menentukan kebutuhan sistem. Pengamatan dilakukan terhadap kondisi air kolam renang pada kondisi jernih dan keruh serta terhadap lokasi yang sesuai untuk penempatan sensor. Hasil observasi digunakan sebagai pertimbangan dalam menentukan konfigurasi dan posisi komponen pada prototipe.

2.2.3. Eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan menguji prototipe menggunakan sampel air dengan tingkat kekeruhan yang berbeda. Sampel air dibuat dalam beberapa kondisi untuk memperoleh variasi pembacaan sensor. Pengujian digunakan untuk mengetahui respons sensor *turbidity*, menentukan hubungan hasil pembacaan sensor dengan tingkat kekeruhan, serta mengamati respons sistem terhadap perubahan kondisi yang terdeteksi.

2.2.4. Dokumentasi

Dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan bukti proses penelitian berupa

dokumentasi rangkaian elektronik, proses perakitan dan pengujian prototipe, hasil pembacaan pada *serial monitor*, serta tampilan data pada *web dashboard*. Dokumentasi juga digunakan sebagai bukti pendukung pada tahap implementasi dan pengujian sistem.

2.3. Tahapan Pengembangan Sistem

Tahap analisis kebutuhan dilakukan untuk menentukan kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam sistem. Perangkat keras meliputi ESP32, sensor *turbidity*, *relay*, dan *dosing pump*. Sementara itu, perangkat lunak meliputi Arduino IDE untuk pemrograman ESP32, Python sebagai antarmuka komunikasi data, MySQL sebagai basis data, serta Flask dan Tailwind CSS sebagai teknologi yang digunakan untuk membangun *web dashboard*.

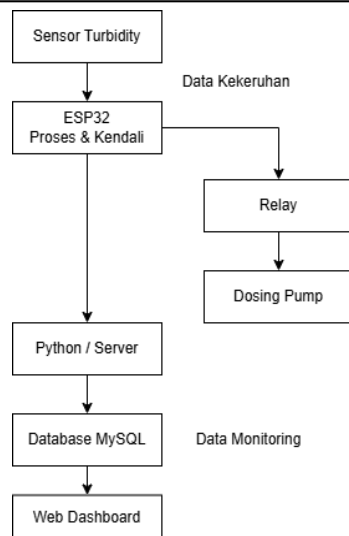
Pada tahap ini juga ditentukan parameter yang digunakan dalam sistem, yaitu nilai kekeruhan air sebagai masukan utama sistem. Nilai ambang sistem ditentukan berdasarkan hasil kalibrasi dan pengujian sensor dengan mempertimbangkan standar kualitas air yang digunakan sebagai acuan penelitian.

2.3.1. Analisis Kebutuhan Sistem

Mengidentifikasi cara kerja pembacaan sensor dan mengonfigurasi logika program pemutus *relay*. Ambang batas parameter kekeruhan dikunci pada nilai maksimal sesuai regulasi pemerintah (Permenkes No. 2 Tahun 2023).

2.3.2. Perancangan (*Design*)

Tahap perancangan dilakukan untuk menentukan hubungan antara perangkat keras dan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras meliputi konfigurasi sensor *turbidity*, ESP32, *relay*, dan *dosing pump*. Perancangan perangkat lunak meliputi algoritma pembacaan sensor, pengambilan keputusan pengaktifan pompa, komunikasi data, penyimpanan data, serta visualisasi pada *web dashboard*.



Gambar 1. Arsitektur sistem IoT

2.3.3. Pembuatan *Prototype* (*Prototyping*)

Tahap *prototyping* merupakan tahap implementasi hasil perancangan ke dalam bentuk perangkat yang dapat digunakan untuk pengujian. Seluruh komponen elektronik dirakit sesuai konfigurasi yang telah ditentukan. ESP32 diprogram menggunakan Arduino IDE untuk membaca data sensor dan menjalankan algoritma kendali.

Program pada ESP32 mengolah nilai pembacaan sensor *turbidity*, kemudian menentukan kondisi air berdasarkan nilai ambang yang telah ditentukan. Hasil pembacaan dan status aktuator dikirimkan menuju server untuk disimpan ke dalam basis data. Data tersebut selanjutnya ditampilkan pada *web dashboard* sehingga kondisi sistem dapat dipantau secara *real-time*.

2.3.4. Pengujian Sistem (*Testing*)

Melakukan pengujian performa alat pada skala laboratorium untuk memvalidasi apakah sensor dapat membaca kekeruhan dengan tepat dan apakah data terkirim ke *database* serta ditampilkan di web secara *real-time*.

2.3.5. Evaluasi dan Perbaikan

Jika ditemukan galat (*error*) pembacaan atau kegagalan koneksi jaringan, sistem akan dikalibrasi ulang pada bagian kode program hingga prototipe bekerja secara konsisten dan siap dilaporkan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Perancangan Sistem

Pada penelitian ini telah berhasil dirancang dan dibangun sistem monitoring dan pengendalian kualitas air secara *real-time* berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem mengintegrasikan sensor *turbidity* sebagai pendeteksi tingkat kekeruhan air, ESP32 sebagai mikrokontroler utama, modul *relay* sebagai pengendali aktuator pompa *dosing*, serta *web dashboard* berbasis Flask dan Tailwind CSS sebagai media monitoring. Konsep tersebut sejalan dengan penelitian Rifa'i, Al Rasyid, dan Gunawan (2021) yang menerapkan IoT untuk melakukan monitoring kualitas air menggunakan beberapa sensor, termasuk sensor *turbidity*, serta mengintegrasikan sistem dengan mekanisme kontrol aktuator secara otomatis [10].

Sistem bekerja dengan membaca kondisi air menggunakan sensor *turbidity*. Nilai analog hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 melalui ADC (*Analog-to-Digital Converter*), kemudian diklasifikasikan berdasarkan nilai ambang (*threshold*) hasil kalibrasi. Data hasil pembacaan selanjutnya dikirim melalui antarmuka serial menggunakan program Python dan disimpan pada database MySQL. Data tersebut kemudian ditampilkan pada *web dashboard* sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi air secara *real-time*. Penerapan monitoring berbasis IoT dengan sensor *turbidity* dan mikrokontroler juga telah digunakan pada penelitian lain untuk menampilkan kondisi kekeruhan air secara jarak jauh melalui platform digital [11][12].

Apabila nilai pembacaan sensor berada di bawah nilai *threshold* yang telah ditentukan, sistem mengklasifikasikan kondisi air sebagai keruh dan memberikan perintah kepada modul *relay* untuk mengaktifkan pompa *dosing*. Dengan demikian, sistem dapat memberikan respons otomatis berdasarkan kondisi air yang terdeteksi tanpa bergantung sepenuhnya pada pemeriksaan manual. Konsep monitoring yang diikuti tindakan otomatis terhadap aktuator juga telah diterapkan pada penelitian Rifa'i et al. (2021), yang menunjukkan bahwa data kualitas

air dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan untuk mengendalikan aktuator secara otomatis [10].

3.2. Hasil Perancangan Hardware

3.2.1. Hasil Perakitan Sistem

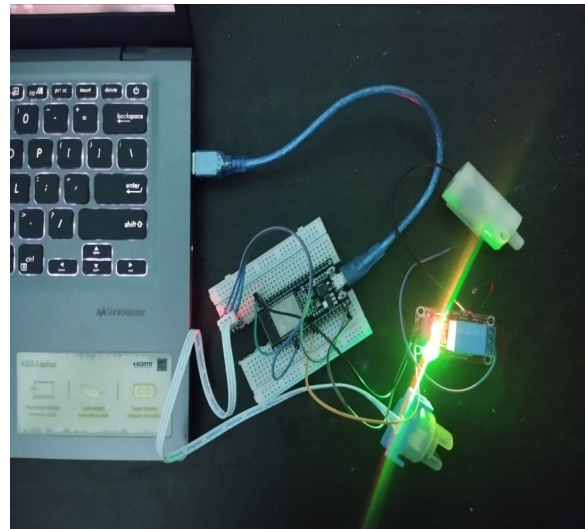
Perangkat keras (*hardware*) yang digunakan dan dirakit dalam penelitian ini berfokus pada integrasi komponen kontroler, sensor, dan aktuator. Detail komponen hasil perakitan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perakitan Sistem

No	Komponen	Fungsi Utama Dalam Sistem
1	ESP32	Mikrokontroler utama dan pemroses data berbasis Wi-Fi
2	Sensor <i>Turbidity</i>	Mengukur tingkat kekeruhan air berdasarkan intensitas cahaya
3	Module <i>Relay</i>	Sakelar elektronik pengendali arus listrik ke pompa
4	Pompa <i>Dosing</i>	Menyalurkan larutan kaporit cair ke kolam renang
5	Laptop	Media penampilan <i>web dashboard monitoring</i>

Hasil perakitan fisik menunjukkan bahwa seluruh komponen perangkat keras berhasil diintegrasikan menjadi satu sistem. Sensor *turbidity* ditempatkan pada jalur pengambilan sampel air, sedangkan modul *relay* digunakan sebagai sakelar elektronik untuk mengendalikan pompa *dosing*. Penggunaan ESP32 sebagai pusat pemrosesan data dan sensor *turbidity* sebagai perangkat pengukuran kekeruhan juga sesuai dengan beberapa penelitian terdahulu mengenai monitoring kualitas air berbasis IoT [11][13].

Penelitian Saraswati et al. mengenai pemantauan kualitas air kolam renang juga menggunakan ESP32, sensor *turbidity*, dan sistem relay dalam proses pengendalian sistem. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sensor *turbidity* dapat digunakan untuk membaca tingkat kekeruhan air kolam dan sistem dapat bekerja dengan baik sebagai perangkat pemantauan berbasis IoT [13].



Gambar 2. Foto Prototipe Hasil Perakitan Sistem

3.2.2. Hasil Rangkaian Elektronika Sistem

Pengabelan sistem dilakukan dengan memetakan pin-pin komponen eksternal ke pin GPIO (*General Purpose Input Output*) mikrokontroler ESP32. Sensor *turbidity* dihubungkan melalui tiga jalur utama, yaitu VCC ke sumber tegangan 5V, GND ke *ground*, dan pin *output* analog dihubungkan ke GPIO34 (ADC1_CH6) pada ESP32.

Sementara itu, modul *relay* 1 *channel* dihubungkan ke pin digital GPIO26 sebagai jalur instruksi *output* dari program. Konfigurasi detail hubungan pin antar-komponen terangkum pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Konfigurasi Pin Ekspansi Sistem

Komponen Asal	Pin Komponen	Pin Tujuan (ESP32)
Sensor <i>Turbidity</i>	VCC	5V
Sensor <i>Turbidity</i>	GND	GND
Sensor <i>Turbidity</i>	OUT	GPIO34
Modul <i>Relay</i>	DC+	5V
Modul <i>Relay</i>	DC-	GND
Modul <i>Relay</i>	IN	GPIO26

Tabel 3. Konfigurasi Koneksi Aktuator Pompa dan Relay

Komponen Sumber	Jalur Koneksi Perangkat
COM Relay	Kutub positif sumber daya pompa
NO (<i>Normally Open</i>) Relay	Kabel merah (positif) pompa dosing
GND Power Supply	Kabel hitam (negatif) pompa dosing

Secara keseluruhan, alur kerja rangkaian ini memastikan ketika data analog di bawah nilai kalibrasi ADC 2860 (menandakan air keruh), pin GPIO26 akan mendapat sinyal *HIGH*, memicu kondisi *Normally Open* (NO) pada relay menjadi *Closed*, sehingga pompa dosing kaporit menyala.

3.3. Hasil Perancangan Software

Perangkat lunak pada penelitian ini berfungsi untuk membaca data sensor, mengolah data, menyimpan data ke database, serta menampilkan hasil monitoring pada web dashboard secara *real time*. Sistem perangkat lunak terdiri dari program ESP32, aplikasi Python, database MySQL, dan web dashboard berbasis Flask.

3.3.1. Program Eksekusi ESP32

Program *embedded* pada ESP32 dikembangkan menggunakan Arduino IDE berbasis bahasa pemrograman C++. Program ini mengunci parameter logika kondisi berbasis nilai pembacaan digital sensor (*Analog-to-Digital Converter*) hasil kalibrasi, yang diklasifikasikan ke dalam dua kondisi pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Batas Klasifikasi Kualitas Air

Range Nilai ADC	Klasifikasi Status Air	Logika Output GPIO26 (Relay)
$ADC \geq 2860$	Jernih	<i>LOW</i> (Pompa Mati)
$ADC < 2860$	Keruh	<i>HIGH</i> (Pompa Aktif)

3.3.2. Program Akuisisi Data

Program akuisisi data dibangun memanfaatkan bahasa pemrograman Python

dengan pustaka (*library*) *PySerial*. Program ini berjalan di latar belakang (*background service*) untuk menangkap data *log parsing* dari port serial USB ESP32 secara *real-time*. Data mentah tersebut diolah dan langsung dieksekusi menggunakan perintah *query* ke dalam sistem basis data (*database*).

3.3.3. Program Database

Database digunakan untuk menyimpan seluruh data Penyimpanan riwayat monitoring menggunakan MySQL yang dikelola via XAMPP. Database diberi nama *monitoring_air* dengan tabel utama bernama *monitoring*. Struktur skema tabel dirancang tangguh untuk mencegah redundansi data, dengan rincian pada Tabel 5.

Tabel 5. Struktur Skema Tabel Monitoring

Field	Tipe Data	Atribut Aturan	Keterangan Data
id	INT	<i>Primary Key, Auto Increment</i>	ID Log Unik (Nomor urut otomatis)
ntu	FLOAT	<i>Null Allowed</i>	Nilai kekeruhan
status_air	VARCHAR (20)	<i>Null Allowed</i>	Status air
waktu	TIMESTAMP	<i>Default: CURRENT_TIMESTAMP</i>	Penanda waktu otomatis dari server

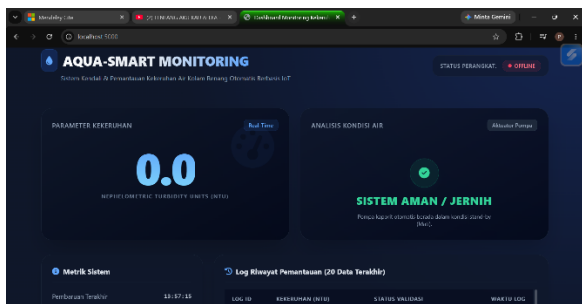
3.3.4. Implementasi Web Dashboard

Antarmuka pemantauan pengguna (*User Interface*) dibangun menggunakan kombinasi *framework* Flask sebagai pengelola rute database (*backend*) dan *framework* Tailwind CSS sebagai utilitas penataan desain gaya modern (*frontend*).

Halaman *web dashboard* dikonfigurasi menggunakan meta tag *auto-refresh* berdurasi 3 detik sehingga browser mampu memperbarui informasi secara mandiri tanpa membebani performa server. Komponen visual yang ditampilkan meliputi visualisasi nilai NTU, kartu status warna dinamis (hijau untuk jernih, merah untuk keruh), serta tabel log riwayat data.

3.3.5. Pengujian Tampilan Web Dashboard

Pengujian antarmuka membuktikan fungsi sistem berjalan responsif. Ketika data baru masuk, komponen penanda status koneksi (*heartbeat status*) mendeteksi aktivitas data.



Gambar 3. Tangkapan Layar Halaman Web Dashboard

Jika data mengalir konstan status akan memuat teks "*Online*" dengan ikon hijau, namun jika komunikasi terputus selama lebih dari 10 detik, sistem otomatis mengubah status menjadi "*Offline*" dengan indikator merah.

3.4. Pengujian Sensor Turbidity

Pengujian keakuratan sensor dilakukan menggunakan empat variasi sampel air lingkungan nyata guna melihat linearitas penurunan nilai ADC terhadap tingkat kepekatan cairan. Hasil pengujian dicatat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengukuran Sensor Terhadap Variasi Sampel Air

Jenis Sampel Air	Nilai ADC yang Terbaca	Estimasi Nilai Kekeruhan (NTU)	Klasifikasi Logika Sistem
Air Kran Bersih	2875	0,2	Jernih
Air Rebusan Teh	2780	4,8	Keruh
Air Seduhan Kopi	2620	12,5	Keruh
Air Tanah	2450	28,3	Keruh

Berdasarkan data pada Tabel 6, proses klasifikasi kualitas air didasarkan pada karakteristik sensor *turbidity* yang bekerja

secara inversi (berbanding terbalik). Melalui proses kalibrasi menggunakan rumus regresi linear yang ditanamkan pada mikrokontroler ESP32, nilai ADC 2860 setara dengan nilai ambang batas toleransi kekeruhan sebesar 0,5 NTU sesuai dengan regulasi Permenkes No. 2 Tahun 2023.

Ketika pengujian dilakukan pada Air Kran Bersih, sensor membaca nilai ADC sebesar 2875 (setara dengan 0,2 NTU), sehingga kondisi air dinilai aman dan jernih. Namun, ketika sensor dimasukkan ke dalam sampel air yang mengandung partikel tersuspensi tinggi seperti air teh, kopi, dan air tanah nilai ADC turun secara signifikan di bawah 2860 (menghasilkan pembacaan di atas 0,5 NTU). Penurunan nilai ADC ini terjadi karena banyaknya partikel yang mendispersikan cahaya lampu LED pada sensor, sehingga intensitas cahaya yang diterima oleh phototransistor berkurang. Kondisi inilah yang memicu sistem *closed-loop* untuk mengirimkan sinyal aktif ke aktuator pompa dosing kaporit.

Karakteristik tersebut sesuai dengan prinsip kerja sensor turbidity yang mendeteksi perubahan intensitas cahaya akibat adanya partikel tersuspensi dalam cairan. Penelitian mengenai sistem monitoring kekeruhan berbasis sensor turbidity juga menunjukkan bahwa sensor dapat digunakan untuk membedakan kondisi air berdasarkan perubahan nilai hasil pembacaan sensor [11][14].

Hasil penelitian juga memperlihatkan bahwa semakin keruh sampel air, semakin rendah nilai ADC yang diperoleh. Pada air tanah, nilai ADC sebesar 2450 merupakan nilai terendah dari seluruh sampel dan menghasilkan estimasi kekeruhan sebesar 28,3 NTU. Temuan ini sejalan dengan penelitian Erwanto et al. yang menunjukkan bahwa parameter turbidity dapat dimanfaatkan sebagai indikator kondisi sedimen atau material tersuspensi pada air dan memerlukan proses kalibrasi agar pembacaan sensor dapat digunakan secara lebih andal pada kondisi lapangan [15].

Berdasarkan hasil kalibrasi penelitian ini, nilai ADC 2860 digunakan sebagai titik ambang yang dikaitkan dengan kekeruhan sebesar 0,5 NTU. Nilai tersebut dipilih karena Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 menetapkan nilai maksimum kekeruhan sebesar 0,5 NTU untuk media air kolam renang [16].

Dengan demikian, air kran pada nilai ADC 2875 dan estimasi 0,2 NTU masih berada di bawah batas kekeruhan yang digunakan dalam penelitian, sehingga diklasifikasikan sebagai jernih. Sebaliknya, air rebusan teh, air seduhan kopi, dan air tanah menghasilkan nilai kekeruhan di atas 0,5 NTU sehingga diklasifikasikan sebagai keruh berdasarkan parameter sistem.

3.5. Pengujian Sinkronisasi Sistem Monitoring

Pengujian integrasi ditujukan untuk memastikan kecocokan antara pembacaan riil di lapangan dengan visualisasi data pada halaman web, seperti dijabarkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Hasil Uji Sinkronisasi Data ke Web Dashboard

Kondisi Air	Tampilan <i>Output Web Dashboard</i>	Status Hasil Uji
Air Kondisi Jernih	Menampilkan status "Jernih"	Valid/Berhasil
Air Kondisi Keruh	Menampilkan status "Keruh"	Valid/Berhasil
Perangkat IoT Aktif	Indikator <i>Heartbeat</i> menampilkan status "Online"	Valid/Berhasil
Jalur Serial Dilepas	Indikator <i>Heartbeat</i> menampilkan status "Offline"	Valid/Berhasil

3.6. Pengujian Otomatisasi Kendali Aktuator

Pengujian pengkondisian ini dilakukan untuk memvalidasi performa *closed-loop system* antara pembacaan sensor dengan respon mekanis dari aktuator, dengan hasil pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Respon *Relay* dan Pompa

Kondisi Air	Relay	Pompa
Air Jernih (ADC $\geq$ 2860)	Off (Terputus)	Off (<i>Stand-by</i>)
Air Keruh (ADC $<$ 2860)	On (Terhubung)	On (Mengalirkan Kaporit)

Hasil tersebut menunjukkan bahwa logika kendali yang diterapkan pada ESP32 telah berjalan sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Hubungan antara sensor sebagai input dan aktuator sebagai output menunjukkan bahwa sistem telah menerapkan mekanisme *closed-loop control* sederhana, yaitu kondisi lingkungan dibaca oleh sensor, diproses oleh mikrokontroler, kemudian menghasilkan tindakan pada aktuator.

Penggunaan ESP32, sensor turbidity, dan aktuator otomatis juga telah diterapkan pada penelitian lain. Arief (2024), misalnya, menggunakan ESP32 untuk mengontrol pompa melalui modul relay sekaligus memonitor nilai turbidity secara *real-time*. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa integrasi sensor, mikrokontroler, relay, dan pompa dapat digunakan untuk membangun sistem monitoring dan pengendalian otomatis [17].

3.7. Pembahasan Hasil Analisis

Secara keseluruhan, hasil implementasi membuktikan bahwa rancang bangun sistem IoT untuk monitoring dan pengendalian kekeruhan air kolam renang telah berfungsi 100% sesuai perancangan. Penggunaan ambang batas nilai ADC 2860 terbukti sangat sensitif dalam mendeteksi perubahan kejernihan air.

Sistem *software* berbasis Flask dan MySQL mampu merekam log riwayat tanpa adanya gejala macet (*crash*). Sementara dari sisi pengendalian otomatis, respon *relay* dalam menyalakan pompa *dosing* kaporit cair memiliki tingkat keterlambatan (*delay*) yang sangat minim (hampir instan), sehingga mampu menjaga baku mutu kualitas air kolam renang secara preventif dan efisien tanpa perlu pengecekan manual.

4. Kesimpulan

Berdasarkan seluruh tahapan perancangan, implementasi, serta pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring dan pengendalian kekeruhan air berbasis *Internet of Things* (IoT) pada kolam renang telah berhasil dibangun secara terintegrasi. Perangkat keras yang memanfaatkan mikrokontroler ESP32, sensor *turbidity*, modul *relay*, dan pompa *dosing* peristaltik mampu bekerja secara selaras dengan sistem perangkat lunak yang didukung oleh basis data (*database*) MySQL serta *web dashboard* berbasis *framework* Flask dan Tailwind CSS.

Melalui proses pengujian dan kalibrasi, sensor *turbidity* terbukti responsif dalam mendeteksi perubahan kualitas air berdasarkan parameter nilai *Analog-to-Digital Converter* (ADC), di mana nilai ADC ≥ 2860 diklasifikasikan sebagai kondisi air jernih dan nilai ADC < 2860 diklasifikasikan sebagai kondisi air keruh. Sistem kendali loop tertutup (*closed-loop system*) juga berjalan dengan baik melalui otomasi pompa *dosing* kaporit cair yang akan aktif seketika saat kondisi air terdeteksi keruh dan akan segera berhenti beroperasi setelah air kembali jernih. Selain itu, implementasi *framework* Tailwind CSS pada sisi *frontend* berhasil menyajikan informasi metrik kualitas air, status koneksi perangkat (*online/offline*), serta log riwayat data secara *real-time* melalui antarmuka *dashboard* yang ringan, modern, dan responsif saat diakses dari komputer maupun *smartphone*.

Meskipun sistem prototipe ini telah berfungsi sepenuhnya sesuai dengan target perancangan, masih terdapat beberapa ruang pengembangan yang dapat diterapkan pada penelitian selanjutnya. Untuk meningkatkan keandalan sistem, penggunaan modul sensor *turbidity* dengan tingkat akurasi dan sensitivitas yang lebih tinggi sangat disarankan agar hasil konversi parameter dapat lebih mendekati nilai linear satuan *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU) yang sebenarnya di lapangan.

Selain itu, penambahan variasi sensor parameter fisik dan kimia lainnya seperti sensor pH, sensor suhu, dan sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) perlu dipertimbangkan guna menyajikan analisis kelayakan air kolam renang yang lebih komprehensif sesuai dengan standar regulasi pemerintah. Pengembangan pada sisi perangkat lunak juga dapat ditingkatkan dengan mengintegrasikan pustaka grafik dinamis seperti Chart.js untuk visualisasi tren data yang lebih interaktif, serta penambahan fitur notifikasi otomatis (*alerting system*) berbasis Telegram API atau WhatsApp API sebagai sistem peringatan dini bagi pengelola kolam. Terakhir, pengujian performa alat pada volume air yang lebih besar serta dalam jangka waktu pengamatan yang lebih panjang sangat diperlukan untuk menguji tingkat ketahanan komponen dan konsistensi sistem pada kondisi lingkungan nyata.

5. Daftar Pustaka

- [1] U. Chasanah, M. A. Annas, and Aminin, "Implementasi Monitoring Kualitas Air Berbasis IoT untuk Meningkatkan Produktivitas Tambak Petani di Desa Sidomulyo," *Jurnal Pengabdian dan Peningkatan Mutu Masyarakat (Janayu)*, vol. 6, no. 4, pp. 284–297, Nov. 2025, doi: 10.22219/janayu.v6i4.42207.
- [2] T. Haryanti, J. Maknunah, and Karsid, "Implementasi Alat Monitoring Kualitas Air Berbasis IoT Pada Tambak Udang Di Desa Pangkalan Kabupaten Indramayu," *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Nusantara (JPKMN)*, 2024.
- [3] E. M. Indrawati, B. Suprianto, and U. T. Kartika, "Pemberi Pakan Ikan Otomatis berbasis IoT dengan FLC Berdasarkan Kualitas Air (Suhu, PH, Kekeruhan)," *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, vol. 13, no. 3, pp. 383–394, Oct. 2024, doi: 10.23887/jstundiksha.v13i3.85982.
- [4] B. D. Prasetyo, E. Widodo, and D. Ardiamat, "Sistem Monitoring Kualitas Air Sumur Berbasis Iot Dengan Fuzzy

- Logic dan Interface Berbasis Web,” *INSECT Jurnal Teknik Informatika*, 2025.
- [5] A. Umbu *et al.*, “Sistem Pemantauan Kualitas Air Kolam Berbasis Internet of Things (IoT) Untuk Mengurangi Kematian Ikan Nila Menggunakan Logika Fuzzy Mamdani,” *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, vol. 4, no. 3, pp. 783–791, 2025.
- [6] R. Sari, A. Fata, J. Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe, and J. Teknologi Informasi dan Komputer Politeknik Negeri Lhokseumawe, “Sistem Pemantauan dan Pengendalian Kekeruhan Berbasis Internet of Things Untuk Aplikasi Pada Proses Pengolahan Air Bersih,” *JSE Jurnal Serabi Engineering*, vol. IX, no. 2, 2024.
- [7] G. J. Latukolan and A. W. Wastumirad, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Sungai Berbasis Aplikasi Smartphone,” *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 8, no. 2, p. 2024, 2024, doi: 10.35870/jti.
- [8] A. V. Ramadhan, K. Setyajid, D. Lutfi, and A. Swarga, “Sistem Deteksi Kualitas Air Minum Kemasan dan Isi Ulang Berbasis Sensor pH dan Turbidity,” 2025, doi: 10.31284/j.JREEC.2025.v5i12.
- [9] M. A. Idhan, “Pengaruh Penerapan Teknologi Iot Pada Monitoring Kualitas Air Tambang Terhadap Efisiensi Pengelolaan Lingkungan Di Area Pertambangan,” *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, vol. 4, no. 3, pp. 8680–8686, Oct. 2025, doi: 10.31004/riggs.v4i3.3326.
- [10] Rifa'i, A. (2021). Sistem Pemantauan dan Kontrol Otomatis Kualitas Air berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan Platform Node-Red untuk Budidaya Udang. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*.
- [11] Arief, A. B. (2024). Rancang Bangun Alat Monitoring Dan Controlling Otomatis Pada Air Rendaman Biji Merica Berbasis Internet of Things. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3).
- [12] Melangi, S., Asri, M., & Hulukati, S. A. (2022). Sistem Monitoring Informasi Kualitas dan Kekeruhan Air Tambak Berbasis Internet of Things. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(1), 77-82.
- [13] Saraswati, I., Komara, B. W., Suhendar, S., & Haryanto, H. (2023). Automatic water level sensor dan pendeteksi keruh air kolam renang dengan sensor turbidity berbasis IoT. *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, 12(1).
- [14] Saraswati, I., Mansyur, M., Haryanto, H., Ramadhani, A., Franata, N., Erlindriyani, R. V., & Yudono, M. A. S. (2025). Sistem Monitoring Kejernihan Air Tandon Menggunakan Sensor Turbidity Berbasis IoT di Kecamatan Kasemen. *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, 14(1), 92-100.
- [15] Erwanto, Z., Iranata, D., Maulana, M. A., Sasmita, G. E., Handoko, S., Habibi, H. J., & Hasyim, N. C. (2024). Pengembangan alat ukur hidrometri berbasis 5 jenis sensor untuk deteksi konsentrasi sedimen dalam upaya mitigasi bencana banjir Sungai Bomo. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 12(1), 9-19.
- [16] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan*.
- [17] Arief, A. B. (2024). Rancang Bangun Alat Monitoring Dan Controlling Otomatis Pada Air Rendaman Biji Merica Berbasis Internet of Things. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3).