

SISTEM KEAMANAN DAN MONITORING KUALITAS AIR KOLAM IKAN LELE BERBASIS IoT

Rahmat Fairun Anwar; Ir. Pratomo Budi Santosa, M.T
Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Penelitian ini membahas perancangan dan implementasi sistem keamanan dan *monitoring* (pemantauan) kolam ikan berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor pH, sensor suhu DS18B20, modul *Real Time Clock (RTC)* DS3231, LCD I2C, relai, motor servo, Telegram Bot, serta teknologi *Computer Vision* berbasis algoritma YOLOv8. Sistem dirancang untuk memantau kondisi kolam ikan secara *real-time* melalui pengukuran nilai pH dan suhu air, menampilkan data pada LCD, serta mengirimkan informasi kepada pengguna melalui Telegram, sehingga proses monitoring dan pengendalian perangkat dapat dilakukan dari jarak jauh. Selain itu, sistem menyediakan *mode online* dan *offline* yang dapat dipilih menggunakan *push button*. Pada aspek keamanan, algoritma YOLOv8 digunakan untuk mendeteksi keberadaan manusia di sekitar kolam secara *real-time*. Ketika objek manusia terdeteksi, sistem secara otomatis melakukan perekaman video, mengirimkan notifikasi melalui Telegram, serta memberikan *trigger* kepada ESP32 untuk menggerakkan motor servo sebagai aktuator otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor suhu DS18B20 memiliki rata-rata persentase kesalahan (*error*) sebesar 0,5%, kesalahan rata-rata sensor pH sebesar 2,25%, dan modul RTC DS3231 memiliki rata-rata selisih waktu sebesar 1 sampai 2 detik terhadap waktu acuan, serta pengujian *button* untuk pengubah *mode* dan pengendalian relai menunjukan bahwa *button* bekerja secara normal. Pengujian komunikasi melalui Telegram menunjukkan bahwa sistem berhasil mengirimkan data *monitoring*, notifikasi deteksi, serta menerima perintah pengendalian relai dan motor servo dengan tingkat keberhasilan 100% dengan waktu respon berkisar 0–1 detik. Selain itu, pengujian deteksi manusia menggunakan algoritma YOLOv8 memperoleh nilai presisi 100% dan recall (sensitivitas) 92 - 99% tanpa menghasilkan *False Positive* tetapi menghasilkan *False Negative 1 - 16 frame* pada tiga skenario pengujian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring kondisi air, deteksi manusia secara *real-time*, perekaman otomatis, pengiriman notifikasi, serta pengendalian perangkat secara andal, sehingga dapat meningkatkan efisiensi monitoring dan keamanan kolam ikan berbasis *IoT*.

Kata Kunci: ESP32, *Internet of Things*, *Monitoring* Kolam Ikan, Sistem Keamanan, YOLOv8, Telegram.

Abstract

This research discusses the design and implementation of an Internet of Things (IoT)-based fish pond security and monitoring system using an ESP32 microcontroller integrated with a pH sensor, a DS18B20 temperature sensor, a DS3231 Real-Time Clock (RTC) module, an I2C LCD, relays, a servo motor, a Telegram Bot, and Computer Vision technology based on the YOLOv8 algorithm. The system is designed to monitor fish pond conditions in real time by measuring water pH and temperature, displaying the data on an LCD, and sending information to users via Telegram, enabling remote monitoring and device control. In addition, the system provides both online and offline

operating modes, which can be selected using a push button. For the security aspect, the YOLOv8 algorithm is employed to detect the presence of humans around the fish pond in real time. When a human is detected, the system automatically records a video, sends a notification via Telegram, and triggers the ESP32 to actuate a servo motor automatically. The experimental results show that the DS18B20 temperature sensor achieved an average error of 0.5%, the pH sensor produced an average error of 2.25%, and the DS3231 RTC module exhibited an average time deviation of 1–2 seconds compared with the reference time. Furthermore, testing of the mode selection button and relay control demonstrated that both functions operated normally. Communication testing through Telegram indicated that the system successfully transmitted monitoring data and detection notifications, while also receiving commands for relay and servo motor control with a 100% success rate and a response time ranging from 0 to 1 second. Moreover, human detection testing using the YOLOv8 algorithm achieved a precision of 100% and a recall (sensitivity) of 92–99%, with no False Positive detections but 1–16 False Negative frames across three testing scenarios. These results demonstrate that the proposed system is capable of real-time water quality monitoring, human detection, automatic video recording, notification delivery, and reliable remote device control, thereby improving the efficiency of monitoring and security for IoT-based fish ponds.

Keywords: *ESP32, Internet of Things, Fish Pond Monitoring, Security System, YOLOv8, Telegram.*

1. PENDAHULUAN

Banyak industri, termasuk industri perikanan, telah sangat terpengaruh oleh kemajuan teknologi *Internet of Things (IoT)*. Teknologi *IoT* memungkinkan untuk menghubungkan berbagai peralatan listrik ke internet, memungkinkan kontrol dan pemantauan otomatis dan *real-time*. Penggunaan teknologi ini mengurangi kendala pemantauan manual, meningkatkan efisiensi kerja, dan mempermudah perolehan informasi bagi pengguna. Pengembangan sistem otomatis yang lebih cerdas dan peka terhadap lingkungannya semakin didukung oleh perkembangan teknologi *computer vision* dan kecerdasan buatan. Kualitas air dan keamanan kolam merupakan aspek penting dalam budidaya ikan yang berdampak besar pada kinerjanya. Menurut (Widodo et al., 2023) pengendalian kualitas air berdasarkan parameter pH dan suhu dapat membantu menjaga kondisi lingkungan kolam tetap berada pada kisaran yang optimal. Pemantauan yang dilakukan secara terus-menerus mampu mengurangi risiko penurunan kualitas air yang dapat menghambat pertumbuhan maupun meningkatkan potensi penyakit pada ikan lele. Agar ikan tumbuh sehat dan mengurangi risiko penyakit dan kematian, kondisi air seperti pH dan suhu harus dijaga. Selain itu, sistem keamanan diperlukan di area kolam ikan untuk menghentikan aktivitas yang tidak diinginkan atau campur tangan manusia. Tidak diragukan lagi ada kekurangan dalam pemantauan manual, terutama ketika pemilik kolam tidak hadir untuk jangka waktu tertentu. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang dapat menyediakan fitur keamanan

otomatis dan terintegrasi serta memantau kondisi kolam. Berdasarkan kemajuan teknologi tersebut, penelitian ini menggunakan ESP32 yang dikombinasikan dengan berbagai sensor dan perangkat bantu untuk menciptakan sistem keamanan dan pemantauan kolam ikan berbasis *Internet of Things (IoT)*. Selain itu, sistem ini menggunakan teknologi deteksi objek YOLOv8, yang berbasis Python, untuk secara otomatis merekam pemantauan keamanan dan mendeteksi keberadaan manusia secara *real-time*. Dengan adanya sistem ini akan meningkatkan efektivitas, efisiensi, dan kemodernan keamanan dalam pemantauan kolam ikan.

Industri budidaya ikan lele memiliki potensi ekonomi yang besar dan sangat penting untuk memenuhi kebutuhan pangan masyarakat. Kondisi lingkungan perairan, terutama karakteristik kualitas air seperti pH dan suhu, Menurut (Wulansari et al., 2022), suhu air merupakan faktor lingkungan yang berpengaruh langsung terhadap aktivitas fisiologis ikan lele. Perubahan suhu yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi dapat memengaruhi metabolisme, nafsu makan, pertumbuhan, serta daya tahan tubuh ikan terhadap penyakit. Serta menurut penelitian dari (Hidayat et al., 2022), pemantauan parameter pH dan suhu air secara berkala sangat diperlukan dalam budidaya ikan lele karena kedua parameter tersebut menentukan kualitas media hidup ikan. Monitoring secara *real-time* memungkinkan perubahan kondisi air diketahui lebih cepat sehingga tindakan penanganan dapat segera dilakukan sebelum berdampak terhadap kesehatan maupun tingkat kematian ikan. Pada kenyataannya, sebagian besar pemantauan kualitas air masih dilakukan secara manual, yang tidak efektif, memerlukan kehadiran langsung operator, dan dapat menunda deteksi perubahan kondisi air. Keterlambatan dalam mengidentifikasi perubahan kualitas air dapat meningkatkan bahaya kematian ikan dan mengurangi produktivitas budidaya. Munculnya teknologi *Internet of Things (IoT)* menjadi peluang untuk mengatasi masalah ini dengan sistem pemantauan otomatis secara *real-time*. Menurut penelitian oleh (Rojas et al., 2025) dibandingkan dengan pendekatan tradisional, menggabungkan sensor kualitas air dengan arsitektur *IoT* dapat meningkatkan akurasi pengukuran dan menyederhanakan proses pemantauan. Informasi tentang kondisi air dapat diperoleh lebih cepat dan akurat karena kemampuan pemrosesan dan visualisasi data terintegrasi dari sistem yang dibuat. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan *IoT* dapat menjadi cara yang bermanfaat untuk meningkatkan standar manajemen budidaya ikan.

Selain itu, menurut penelitian dari (Faith et al., 2025) mengenai sistem *monitoring* kualitas air kolam ikan berbasis *IoT* menunjukkan bahwa penggunaan sensor suhu dan pH yang terhubung dengan platform digital mampu memberikan data yang stabil dan konsisten secara *real-time*. Sistem tersebut memudahkan seseorang dalam melakukan pemantauan dari jarak

jauh. Integrasi sensor dengan teknologi *IoT* dapat meningkatkan efisiensi operasional serta mempercepat respons terhadap perubahan kondisi lingkungan perairan.

Penelitian lain yang dilakukan oleh (Azreen et al., 2024) membuktikan bahwa penggunaan sensor berbiaya rendah yang dikombinasikan dengan sistem *monitoring* berbasis *IoT* tetap mampu menghasilkan akurasi yang cukup baik. Sementara itu, penelitian (Zafi et al., 2024) menunjukkan jika ESP32 dapat dimanfaatkan untuk melakukan *monitoring* kualitas air secara *real-time*. Dengan hasil tersebut membuktikan bahwa *IoT* memiliki potensi besar untuk diterapkan pada sistem budidaya ikan yang lebih *modern*, efisien, dan mudah diakses.

Selain permasalahan kualitas air, aspek keamanan kolam juga menjadi perhatian karena kolam yang berada di area terbuka rentan terhadap pencurian maupun gangguan dari pihak yang tidak berkepentingan. Sistem pengawasan yang masih dilakukan secara konvensional memiliki keterbatasan dalam memberikan respons cepat ketika terjadi aktivitas mencurigakan di sekitar kolam. Oleh karena itu, diperlukan sistem keamanan yang mampu melakukan pemantauan secara otomatis dan berkelanjutan.

Perkembangan teknologi *Computer Vision* memberikan solusi untuk meningkatkan efektivitas sistem keamanan. Dalam kajian yang dilakukan oleh (Afifah & Erniwati, 2026), algoritma YOLOv8 diketahui memiliki kemampuan deteksi objek dengan tingkat akurasi yang tinggi serta kecepatan pemrosesan yang baik dibandingkan generasi sebelumnya. Kemampuan tersebut menjadikan YOLOv8 sangat sesuai diterapkan pada sistem pengawasan berbasis kamera untuk mendeteksi keberadaan manusia pada area yang memerlukan pemantauan secara terus-menerus.

Berdasarkan berbagai penelitian tersebut, dapat dikatakan bahwa *IoT* mampu meningkatkan efektivitas *monitoring* kualitas air, sedangkan algoritma YOLOv8 memiliki performa yang baik dalam mendukung sistem keamanan berbasis visi komputer. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada salah satu aspek saja, yaitu *monitoring* kualitas air atau sistem keamanan secara terpisah. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada perancangan dan pembangunan sistem *monitoring* kualitas air serta keamanan kolam ikan yang terintegrasi dalam satu platform berbasis Telegram dengan memanfaatkan ESP32 sebagai pusat kendali, sensor suhu dan pH sebagai perangkat *monitoring*, serta kamera yang terhubung dengan algoritma YOLOv8 sebagai sistem keamanan.

2. METODE

2.1 Jenis dan pendekatan serta lokasi penelitian

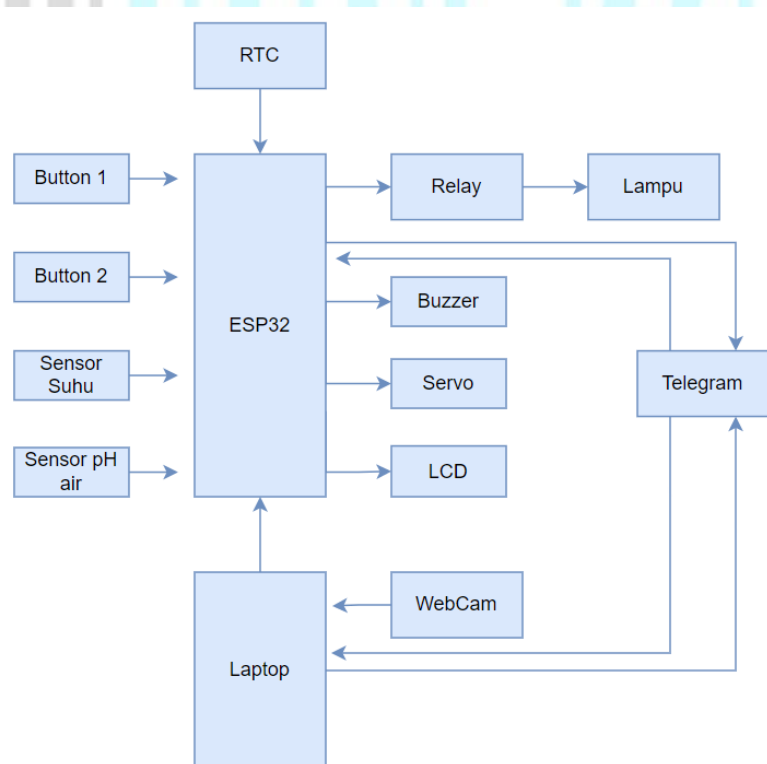
Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* atau metode rancang bangun, yaitu metode yang melakukan perancangan, pengembangan, serta pengujian sistem

monitoring dan keamanan kolam ikan berbasis *IoT* dan *Computer Vision*. Pendekatan yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif eksperimental, karena penelitian berfokus pada pengujian performa sistem melalui pengukuran numerik seperti akurasi sensor, stabilitas jaringan, serta performa deteksi objek (*presisi dan Sensitivitas*). Selain itu, penelitian ini juga didukung pendekatan deskriptif evaluatif, yaitu dengan menganalisis hasil pengujian sistem untuk menilai efektivitas dan keandalannya dalam kondisi nyata. Penelitian dilaksanakan pada kolam budidaya ikan air tawar yang digunakan sebagai objek implementasi sistem. Lokasi dipilih berdasarkan beberapa pertimbangan, yaitu:

1. Tersedianya akses listrik
2. Ketersediaan jaringan internet (WiFi)
3. Kondisi kolam yang representatif untuk pengujian sensor dan kamera

Pengujian dilakukan secara langsung (*on-site testing*) untuk memperoleh data yang sesuai dengan kondisi lingkungan sebenarnya (*real environment*).

2.2 Blok Diagram Sistem

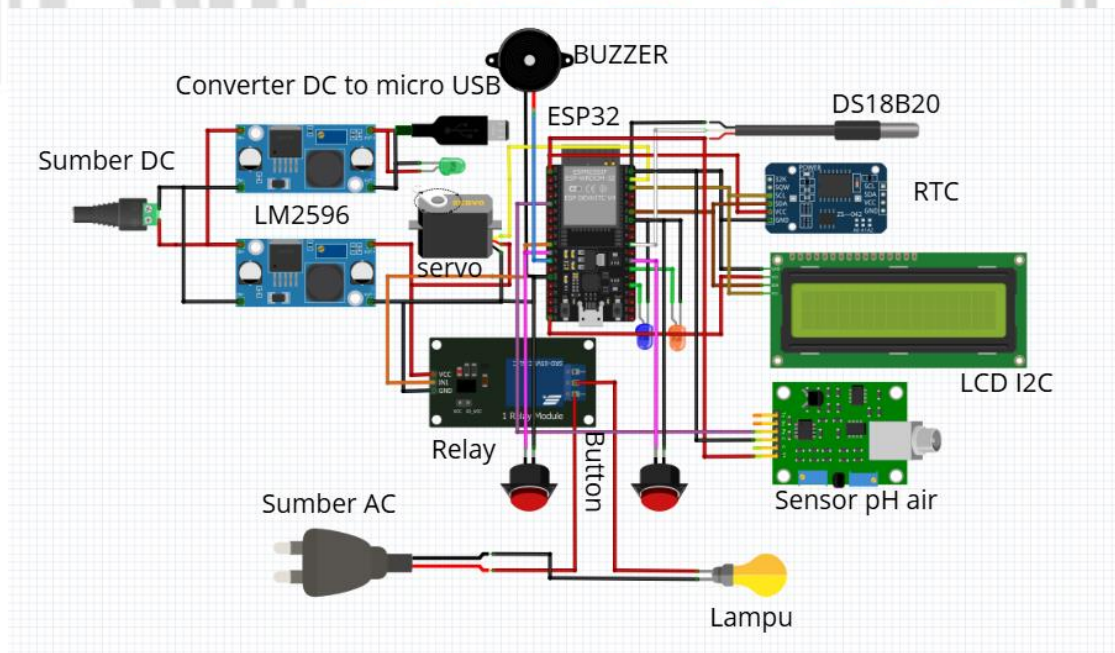


Gambar 1. Blok Diagram sistem

Gambar 1 menunjukkan diagram alir dari sistem yang dibuat. Diagram perangkat ini menggambarkan struktur sistem monitoring dan perlindungan kolam ikan berbasis *Internet of Things (IoT)* yang terintegrasi dengan teknologi visi komputer. Dalam perangkat ini, ESP32 bertindak sebagai pusat kendali utama yang menerima dan memproses informasi dari berbagai

komponen input, khususnya sensor suhu (DS18B20), sensor pH air, modul *Real Time Clock* (RTC), dan beberapa tombol sebagai kontrol manual untuk mengubah status perangkat dari *offline* ke *online* atau sebaliknya dan untuk menampilkan relai saat dalam *mode offline*. Sensor suhu digunakan untuk memantau suhu air kolam, sedangkan sensor pH berfungsi untuk mengukur tingkat keasaman air untuk menjaga kualitas lingkungan ikan. Modul RTC menyediakan data waktu nyata yang dapat digunakan untuk penjadwalan. Statistik yang diperoleh dari sensor kemudian diproses dengan bantuan ESP32 dan ditampilkan secara lokal melalui LCD sebagai antarmuka *offline*, sehingga pengguna tetap dapat memantau kondisi kolam meskipun tanpa koneksi internet. Demikian pula, ESP32 juga mengontrol modul relai yang berfungsi sebagai aktuator untuk mengoperasikan perangkat eksternal, khususnya pencahayaan dengan kondisi yang ditentukan oleh sistem. Untuk keamanan, mesin ini dilengkapi dengan webcam yang terhubung ke komputer untuk melakukan deteksi objek menggunakan sistem YOLOv8. Kamera akan mengaktifkan *mode* perekaman video saat mendeteksi keberadaan manusia, dan video dapat dikirim melalui Telegram ke pengguna. Selain itu, ESP32 juga dapat mengirimkan pembacaan sensor, termasuk suhu air dan pH, ke Telegram, memungkinkan pelacakan jarak jauh secara *real-time*. Motor servo juga digunakan untuk menggerakkan kamera ke posisi tertentu untuk melihat area yang lebih luas. Serta terdapat buzzer yang diaktifkan berdasarkan perintah yang dikirimkan melalui program python.

2.3 Wiring sistem



Gambar 2. Wiring sistem

Gambar 2 menunjukkan diagram pengkabelan (*wiring diagram*) perangkat monitoring dan keamanan kolam ikan berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32 sebagai pusat

kendali sistem. Sumber catu daya utama berasal dari adaptor DC 9 V yang kemudian didistribusikan ke dua modul penurun tegangan LM2596. Modul LM2596 pertama menurunkan tegangan menjadi 5 V untuk menyuplai daya ke ESP32 melalui port micro USB, sedangkan modul LM2596 kedua menghasilkan tegangan 5 V yang digunakan untuk menyuplai motor servo, modul relai, dan buzzer. Dengan penggunaan dua modul LM2596, suplai daya pada setiap komponen menjadi lebih stabil sehingga mengurangi gangguan akibat fluktuasi tegangan saat beberapa aktuator bekerja secara bersamaan.

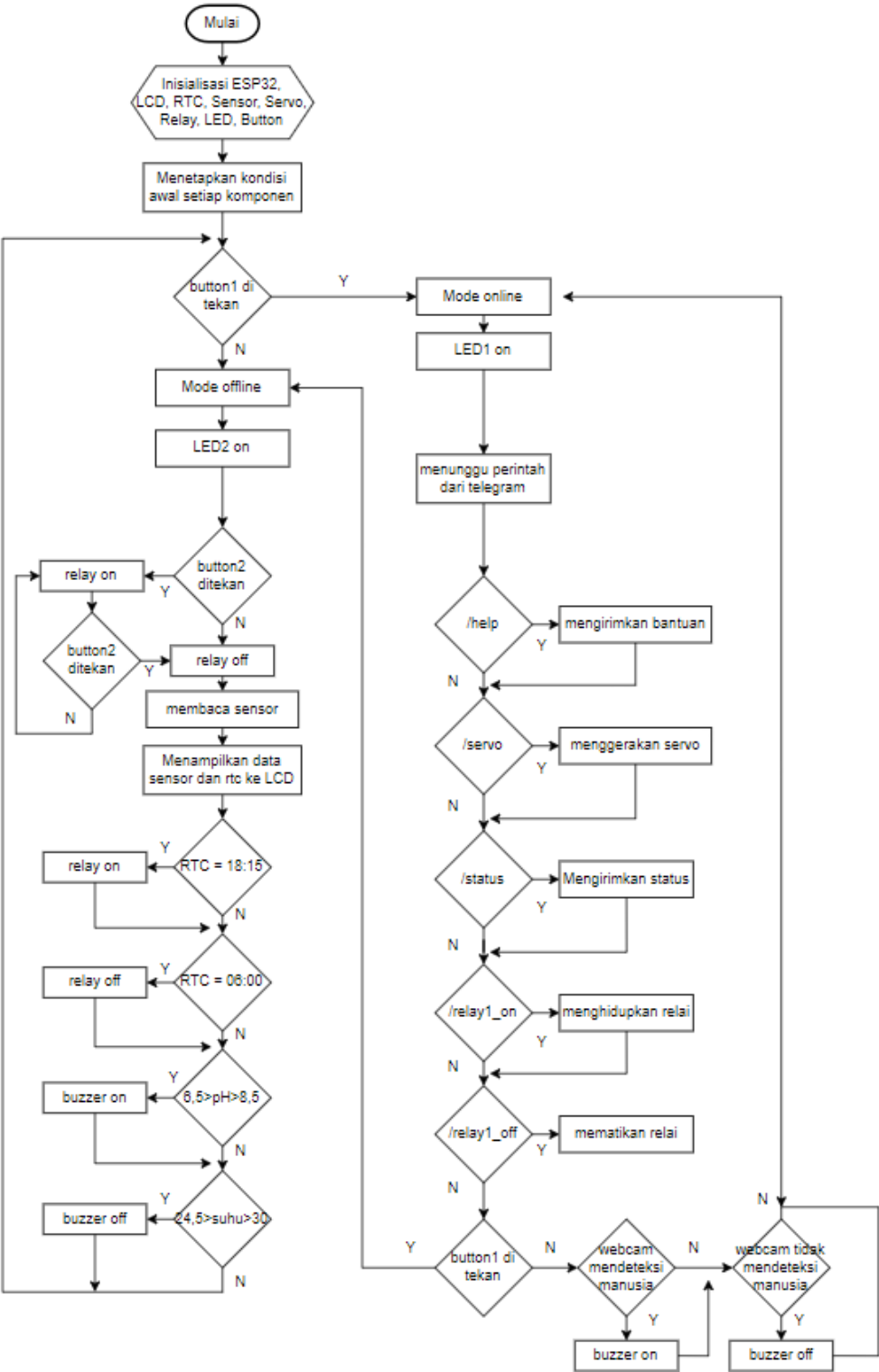
ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali yang menghubungkan seluruh perangkat input dan output. Perangkat input terdiri atas sensor pH yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman air serta sensor suhu DS18B20 yang berfungsi mengukur suhu air kolam. Data yang diperoleh dari kedua sensor diproses oleh ESP32, kemudian ditampilkan pada LCD 20×4 melalui komunikasi I2C sehingga pengguna dapat memantau kondisi kualitas air secara *real-time*. Selain sensor, ESP32 juga terhubung dengan dua buah *push button* yang digunakan untuk mengatur *mode* operasi sistem dan mengendalikan perangkat secara manual. Dua buah LED indikator digunakan untuk menunjukkan status operasional sistem, yaitu LED1 sebagai indikator *mode online* dan LED2 sebagai indikator *mode offline*. Sebuah LED tambahan dipasang pada jalur catu daya sebagai indikator bahwa perangkat telah memperoleh suplai tegangan dan berada dalam kondisi aktif.

Pada sisi aktuator, ESP32 mengendalikan motor servo menggunakan sinyal Pulse Width Modulation (PWM). Motor servo memperoleh catu daya 5 V dari modul LM2596 kedua dan berfungsi menggerakkan webcam sesuai dengan sudut yang telah ditentukan pada program sehingga area pemantauan dapat disesuaikan. Selain itu, ESP32 juga mengendalikan modul relai yang berfungsi sebagai sakelar elektronik untuk menghubungkan atau memutuskan catu daya AC menuju lampu. Lampu memperoleh sumber tegangan langsung dari jaringan listrik AC, sedangkan relai hanya berperan sebagai penghubung atau pemutus arus sesuai perintah yang diberikan oleh ESP32.

Sebagai sistem keamanan, perangkat juga dilengkapi dengan buzzer yang berfungsi sebagai alarm peringatan. Buzzer dikendalikan oleh ESP32 dan Aktivasi buzzer dilakukan secara langsung oleh ESP32 berdasarkan hasil pembacaan sensor yaitu ketika nilai dari pH dan suhu terlalu besar dan terlalu kecil. Selain itu aktivasi buzzer juga berdasarkan perintah yang dikirimkan oleh program Python. Ketika program Python berhasil mendeteksi keberadaan manusia melalui webcam menggunakan algoritma YOLOv8, program akan mengirimkan perintah kepada ESP32 melalui Bot Telegram untuk mengaktifkan buzzer. Sebaliknya, apabila tidak terdapat manusia yang terdeteksi, program akan mengirimkan perintah untuk

menonaktifkan buzzer. Dengan mekanisme tersebut, proses pengolahan citra dilakukan oleh komputer melalui program Python, sedangkan ESP32 bertugas mengeksekusi perintah dengan mengendalikan perangkat keras seperti buzzer, relai, servo, LCD, dan sensor.

2.4 Flowchart ESP32



Gambar 3. Flowchart ESP32

Flowchart sistem diawali dengan proses inialisasi seluruh perangkat keras, yaitu ESP32, LCD I2C, modul RTC, sensor suhu, sensor pH, servo, relai, LED, dan *push button*. Pada tahap ini setiap komponen dikonfigurasi agar siap digunakan, kemudian sistem menetapkan kondisi awal seluruh perangkat, seperti relai dalam keadaan mati, servo pada posisi awal, serta LED dalam kondisi sesuai *mode* yang dipilih. Setelah proses inialisasi selesai, sistem akan memeriksa kondisi *button* 1 sebagai penentu *mode* operasi, yaitu *mode offline* atau *mode online*.

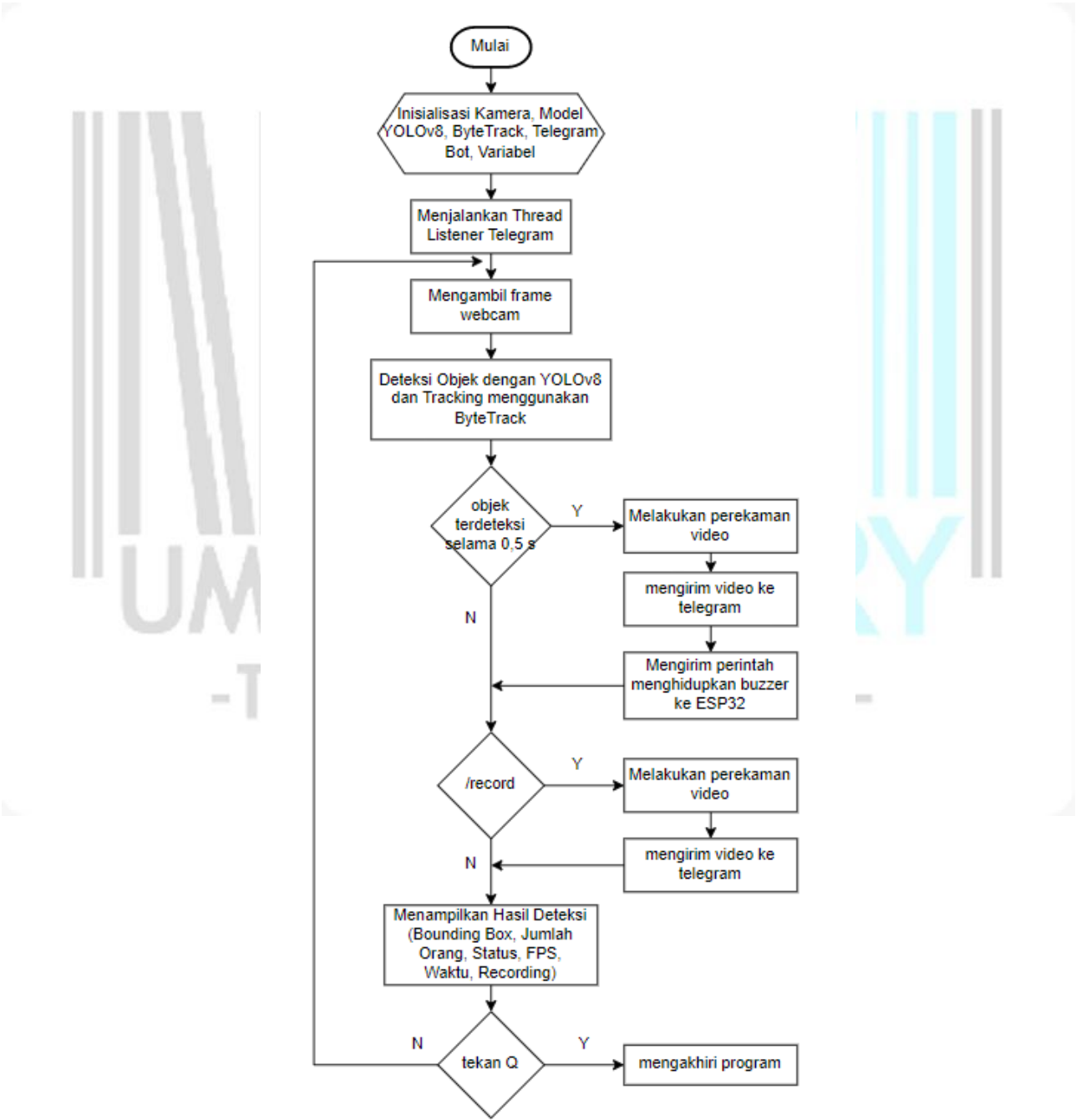
Apabila *button* 1 tidak ditekan, sistem akan masuk ke *mode offline* yang ditandai dengan LED2 menyala. Pada *mode* ini ESP32 bekerja secara mandiri tanpa koneksi ke Telegram. Pengguna dapat mengendalikan relai secara manual menggunakan *button* 2. Ketika *button* 2 ditekan, relai akan menyala, sedangkan saat ditekan kembali relai akan mati. Selain itu, ESP32 secara berkala membaca nilai sensor suhu, sensor pH, dan waktu dari modul RTC, kemudian hasil pembacaan tersebut ditampilkan pada LCD. Sistem juga melakukan pengecekan waktu berdasarkan RTC. Jika waktu menunjukkan pukul 18.15, relai akan diaktifkan secara otomatis, sedangkan ketika waktu menunjukkan pukul 06.00, relai akan dimatikan kembali. Proses tersebut berlangsung secara berulang selama sistem berada pada *mode offline*.

Sebaliknya, apabila *button* 1 ditekan, sistem akan berpindah ke *mode online* yang ditandai dengan LED1 menyala. Pada *mode* ini ESP32 terhubung dengan Bot Telegram dan terus memantau apakah terdapat perintah yang dikirim oleh pengguna. Jika pengguna mengirimkan perintah */help*, sistem akan mengirimkan daftar perintah yang tersedia. Apabila menerima perintah */servo*, ESP32 akan menggerakkan motor servo sesuai program yang telah ditentukan. Selanjutnya, jika menerima perintah */status*, ESP32 akan membaca data sensor suhu, sensor pH, waktu RTC, serta status relai, kemudian mengirimkan informasi tersebut kepada pengguna melalui Telegram. Selain itu, pengguna juga dapat mengendalikan relai dari jarak jauh menggunakan perintah */relay1_on* untuk menyalakan relai dan */relay1_off* untuk mematikan relai.

Pada *mode online*, sistem juga terintegrasi dengan program Python yang berjalan pada laptop. Program Python bertugas mengambil gambar secara *real-time* menggunakan webcam, kemudian setiap *frame* diproses menggunakan algoritma YOLOv8 untuk mendeteksi keberadaan manusia. Proses deteksi ini dilakukan sepenuhnya oleh Python, sedangkan ESP32 tidak melakukan pengolahan citra. Setelah YOLOv8 selesai melakukan analisis, hasil deteksi digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan. Jika manusia berhasil terdeteksi pada area pengamatan, program Python akan mengirimkan perintah kepada ESP32 melalui mekanisme komunikasi yang telah diprogram, sehingga ESP32 mengaktifkan buzzer sebagai alarm. Sebaliknya, apabila tidak terdeteksi adanya manusia, program Python akan mengirimkan

perintah untuk mematikan buzzer sehingga alarm berada dalam kondisi tidak aktif. Dengan demikian, Python berfungsi sebagai pengolah citra dan pendeteksi objek menggunakan webcam dan algoritma YOLOv8, sedangkan ESP32 berperan sebagai pengendali perangkat keras yang menjalankan aksi berdasarkan perintah yang diterima dari program Python. Buzzer juga digunakan untuk penanda jika nilai pH dan suhu tidak normal. Seluruh proses tersebut berlangsung secara berulang sehingga sistem mampu melakukan monitoring dan pengamanan area kolam ikan secara otomatis dan berkelanjutan.

2.5 Flowchart webcam



Gambar 4. Flowchart python

Pada Gambar 4 merupakan *Flowchart* program Python yang diawali dengan proses inisialisasi seluruh komponen yang diperlukan, yaitu kamera (webcam), *model* YOLOv8, algoritma *ByteTrack*, Bot Telegram, serta variabel-variabel yang digunakan selama program berjalan. Pada tahap ini, program juga mempersiapkan seluruh konfigurasi agar proses deteksi objek, pelacakan objek, komunikasi dengan Telegram, dan pengiriman perintah ke ESP32 dapat dilakukan dengan baik. Setelah proses inisialisasi selesai, program menjalankan *thread listener* Telegram. *Thread* ini bekerja secara terpisah dari proses utama sehingga program dapat menerima dan memproses perintah dari Telegram tanpa mengganggu proses deteksi objek yang sedang berlangsung. Dengan demikian, sistem mampu melakukan dua proses secara bersamaan, yaitu mendeteksi objek melalui webcam dan menerima perintah dari pengguna melalui Telegram.

Selanjutnya, program mengambil *frame* atau gambar dari webcam secara terus-menerus. Setiap *frame* yang diperoleh kemudian diproses menggunakan *model* YOLOv8 untuk melakukan deteksi objek. Setelah objek berhasil dideteksi, algoritma *ByteTrack* digunakan untuk melacak objek yang sama pada *frame* berikutnya sehingga identitas objek tetap konsisten meskipun objek bergerak. Penggunaan *ByteTrack* membantu meningkatkan stabilitas hasil deteksi karena setiap objek yang teridentifikasi akan diberikan ID yang tetap selama masih berada di dalam area pengamatan. Setelah proses deteksi dan pelacakan selesai, sistem melakukan pemeriksaan apakah objek manusia terdeteksi secara terus-menerus selama minimal 0,5 detik. Tujuan pemberian batas waktu tersebut adalah untuk mengurangi kesalahan deteksi akibat munculnya objek sesaat atau gangguan pada kamera. Apabila manusia berhasil terdeteksi selama waktu yang telah ditentukan, program akan melakukan perekaman video sebagai bukti kejadian. Setelah proses perekaman selesai, video secara otomatis dikirimkan kepada pengguna melalui Bot Telegram. Selanjutnya, program mengirimkan perintah kepada ESP32 agar mengaktifkan buzzer sebagai alarm peringatan bahwa terdapat manusia yang berada di area pemantauan.

Selain proses deteksi otomatis, program juga memeriksa apakah pengguna mengirimkan perintah *"/record"* melalui Telegram. Apabila perintah tersebut diterima, program akan langsung melakukan perekaman video meskipun tidak terdapat objek manusia yang terdeteksi. Setelah proses perekaman selesai, hasil rekaman akan dikirimkan kepada pengguna melalui Telegram sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi kolam ikan dari jarak jauh sesuai kebutuhan. Selama program berjalan, hasil deteksi ditampilkan secara *real-time* pada layar komputer. Informasi yang ditampilkan meliputi kotak pembatas (*bounding box*) pada objek yang terdeteksi, jumlah manusia yang berhasil dideteksi, status sistem, nilai FPS (*Frame*

Per *Second*), waktu saat proses berlangsung, serta indikator apakah sistem sedang melakukan perekaman video. Tampilan tersebut membantu pengguna dalam memantau kinerja sistem dan memastikan bahwa proses deteksi berjalan dengan baik. Terakhir, program akan terus mengulangi proses pengambilan *frame*, deteksi objek, pelacakan menggunakan *ByteTrack*, pengecekan perintah Telegram, serta pembaruan tampilan hasil deteksi hingga pengguna menekan tombol "Q" pada keyboard. Ketika tombol tersebut ditekan, program akan menghentikan seluruh proses yang sedang berjalan, menutup kamera, melepaskan seluruh sumber daya yang digunakan, dan mengakhiri program secara aman.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil perancangan sistem

1. Hasil perancangan perangkat keras



Gambar 5. Gambar perangkat keras

Gambar 5 menunjukkan tampilan perangkat keras yang sudah jadi. Tata letak perangkat keras dalam tampilan ini dicapai dengan mengintegrasikan berbagai komponen utama yang berfungsi sebagai perangkat pemantauan kualitas air dan sistem keamanan kolam ikan berbasis *Internet of Things (IoT)*. Komponen utama yang digunakan adalah ESP32 sebagai pusat kendali mesin, sensor pH untuk mengukur keasaman air, sensor suhu DS18B20 untuk mengukur suhu air kolam, RTC sebagai indikator waktu, LCD sebagai media tampilan lokal, webcam sebagai alat akuisisi gambar untuk sistem keamanan, dan relai serta motor servo sebagai aktuator yang dapat dikontrol secara otomatis atau melalui Telegram.

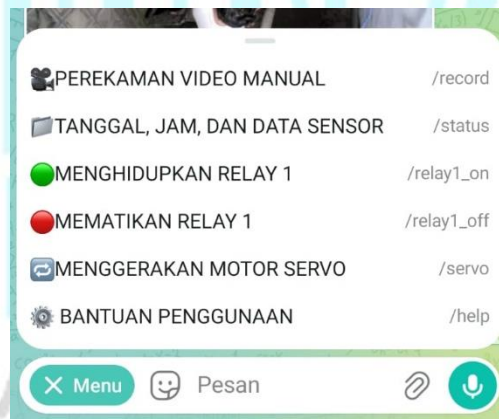
ESP32 dipilih karena kemampuannya yang kuat dan dilengkapi dengan modul WiFi internal, yang memungkinkannya untuk mendukung komunikasi data *real-time* melalui internet. Sensor pH dan suhu dihubungkan ke ESP32 untuk mengukur kualitas air

secara berkala. Pembacaan sensor kemudian diproses dengan bantuan ESP32 dan ditampilkan pada LCD saat sistem *offline* atau dikirim ke platform Telegram saat *online*.

RTC digunakan untuk memberikan catatan waktu dan tanggal yang akurat. Penggunaan RTC memungkinkan perangkat untuk menyimpan statistik waktu bahkan selama pemadaman listrik sementara. Selain itu, relai bertindak sebagai sakelar elektronik untuk mengontrol sistem eksternal sesuai kebutuhan, sementara motor servo bertindak sebagai aktuator mekanis untuk mensimulasikan perangkat penggerak kamera melalui perintah Telegram. Serta terdapat buzzer yang di aktifkan berdasarkan perintah dari python ketika mendeteksi keberadaan manusia.

Untuk perangkat keamanan, webcam dihubungkan ke komputer atau laptop yang menjalankan Python dan algoritma YOLOv8. Kamera menangkap gambar *real-time*, yang kemudian diproses menggunakan *computer vision* untuk mendeteksi keberadaan manusia di sekitar kolam ikan. Ketika manusia terdeteksi, sistem secara otomatis merekam video dan mengirimkan rekaman tersebut ke Telegram sebagai pemberitahuan keamanan. Berikut ini ilustrasi pengkabelan (*wiring*) sistem.

2. Hasil perancangan perangkat lunak



Gambar 6. Tampilan BOT telegram

Gambar 6 menunjukkan tangkapan layar dari Telegram Bot. Tata letak perangkat lunak pada tampilan ini menggunakan Telegram Bot sebagai antarmuka komunikasi antara pengguna dan perangkat monitoring dan keamanan kolam ikan. Telegram Bot berfungsi sebagai media untuk menerima instruksi dari pengguna dan mengirimkan catatan kondisi perangkat secara *real-time*. Kombinasi Telegram Bot dengan ESP32 dan komputer yang menjalankan algoritma YOLOv8 memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengelola perangkat dari jarak jauh melalui perangkat lunak Telegram. Salah satu perintah yang tersedia adalah */record*. Perintah ini digunakan untuk secara manual memicu perekaman video pada sistem keamanan. Ketika perintah diterima, program Python akan mengaktifkan

kamera untuk merekam kondisi di sekitar kolam ikan selama waktu yang telah ditentukan. Setelah proses perekaman selesai, video disimpan ke komputer dan secara otomatis dikirimkan ke pengguna melalui Telegram sehingga area kolam dapat dipantau dari jarak jauh.

Perintah `/status` digunakan untuk menampilkan kondisi sistem secara keseluruhan. Ketika perintah ini dijalankan, bot akan mengirimkan catatan tentang status perangkat yang terhubung, seperti sensor, atau parameter lain yang digunakan dalam perangkat. Pilihan ini memudahkan pengguna untuk mengenali kondisi perangkat tanpa harus berada di lokasi secara langsung. Perintah `/relai1_on` digunakan untuk mengaktifkan relai 1 yang terhubung ke perangkat eksternal, disini digunakan untuk mengaktifkan pencahayaan yang ada di sekitar kolam. Setelah perintah diterima, ESP32 mengirimkan sinyal ke modul relai, menyebabkan relai beralih ke keadaan aktif. Sebaliknya, perintah `/relai1_off` digunakan untuk menonaktifkan relai 1, mencegah pengoperasian perangkat terkait. Kedua perintah ini memungkinkan pengguna untuk mengontrol perangkat dari jarak jauh melalui Telegram.

Perintah `/servo` digunakan untuk mengontrol motor servo yang berfungsi karena mekanisme untuk menggerakkan kamera. Saat perintah dikirim, ESP32 menggerakkan motor servo ke sudut yang telah ditentukan untuk menggerakkan kamera. Pilihan ini memungkinkan pemantauan memiliki area yang lebih luas. Selain itu, perintah `/help` menampilkan daftar semua perintah yang tersedia. Saat sebuah perintah dijalankan, bot akan mengirimkan informasi tentang fitur-fitur dari setiap perintah, termasuk `/status`, `/record`, `/relai1_on`, `/relai1_off`, dan `/servo`. Opsi ini bertujuan untuk memudahkan pengguna dalam mengoperasikan perangkat dan memahami fitur-fitur yang tersedia pada Bot Telegram.

3.2 Hasil Pengujian Sensor dan RTC

Pengujian sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor yang digunakan pada penelitian dengan alat ukur standar sebagai acuan. Sensor suhu dibandingkan dengan termometer digital standar, sedangkan sensor pH air dibandingkan dengan alat ukur pH meter standar. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat akurasi sensor serta memastikan bahwa data yang dihasilkan dapat digunakan dalam sistem *monitoring* kolam ikan. Perhitungan tingkat kesalahan (*error*) dilakukan menggunakan persamaan:

$$\%error : \frac{Xs - Xr}{Xr} \times 100\%$$

Xs : Sensor yang digunakan

Xr : Alat standar

Pengujian dilakukan beberapa kali dalam kondisi yang sama, kemudian pembacaan sensor dan instrumen standar dicatat. Perbedaan antara sensor penelitian dan instrumen standar kemudian dipastikan dengan menghitung nilai kesalahan untuk setiap pengujian. Akurasi sensor meningkat seiring dengan penurunan nilai kesalahan. Termometer digital biasa digunakan untuk membandingkan nilai suhu yang dicatat oleh sensor suhu selama pengujian. Dalam pengujian sensor pH air, nilai pH sensor dibandingkan dengan temuan pH meter konvensional. Nilai kesalahan sensor rata-rata kemudian dihitung dengan merata-ratakan perhitungan kesalahan dari setiap pengujian. Sistem pemantauan kualitas air yang direncanakan menggunakan nilai kesalahan rata-rata ini sebagai ukuran kinerja sensor.

Tujuan pengujian *RTC* adalah untuk mengevaluasi seberapa akurat tampilan waktu modul *RTC* dalam kaitannya dengan waktu referensi. Jam pada ponsel yang telah disinkronkan secara otomatis dengan jaringan internet berfungsi sebagai waktu referensi. Pengujian dilakukan dengan menentukan perbedaan waktu dalam detik antara waktu yang ditampilkan oleh *RTC* dan waktu standar pada berbagai *interval* pengamatan. Modul *RTC* mampu menampilkan waktu dengan cukup akurat, menurut temuan pengujian. Tingkat akurasi *RTC* selama pengoperasian sistem kemudian dihitung dengan merekam dan merata-ratakan perbedaan waktu yang dicapai dalam setiap pengujian. *RTC* bekerja lebih baik dalam menjaga ketepatan waktu ketika perbedaannya lebih kecil.

1. Sensor Suhu

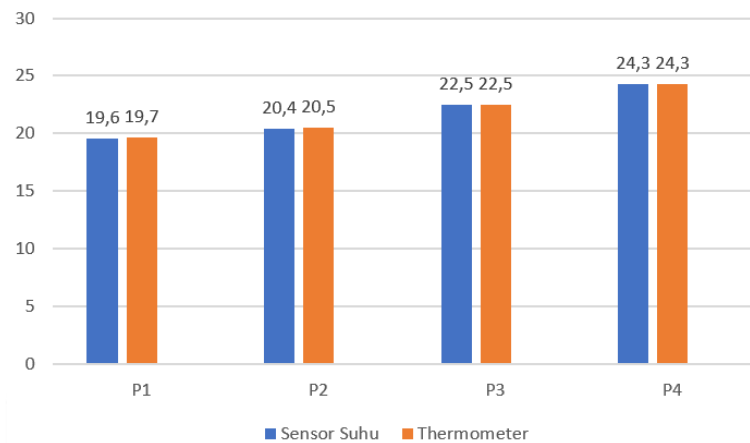
Tabel 1. Ketepatan nilai sensor suhu dengan thermometer

Percobaan	Sensor Suhu	Thermometer	Kesalahan (%)
P1	19,6	19,7	0,5%
P2	20,4	20,5	0,5%
P3	22,5	22,5	0%
P4	24,3	24,3	0%

Hasil pengujian sensor suhu yang dibandingkan dengan termometer ditampilkan pada Tabel 1. Akurasi sensor dalam memantau suhu air diuji empat kali pada berbagai suhu. Pembacaan sensor dikumpulkan pada suhu 19,6°C, 20,4°C, 22,5°C, dan 24,3°C dalam setiap percobaan, sesuai dengan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel Pengujian Sensor Suhu. Pengujian ini memiliki perbedaan 0 - 0,5 persen dari sensor standar.

Temuan pengujian ini menunjukkan bahwa sensor suhu mengukur suhu air dalam rentang pengujian dengan presisi yang cukup baik. Sensor beroperasi dengan benar dan sesuai untuk digunakan sebagai komponen sistem pemantauan kualitas air kolam ikan jika

hanya memiliki perbedaan 0 - 0,5 persen antara nilai sensor dan instrumen standar. Sensor suhu dapat memberikan pemantauan kondisi lingkungan perairan secara *real-time*. Gambar 7 menampilkan temuan pengujian sensor secara grafis.



Gambar 7. Grafik pengujian sensor suhu

2. Sensor Ph

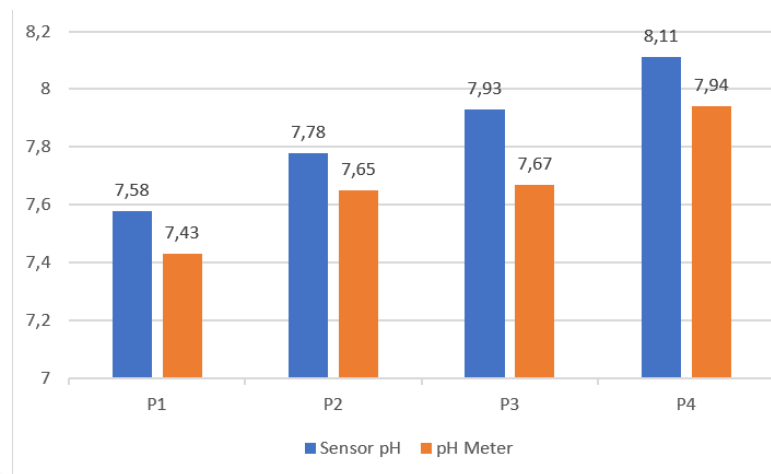
Tabel 2. Ketepatan nilai sensor pH dengan pH meter

Percobaan	Sensor pH	pH meter	Kesalahan (%)
P1	7,58	7,43	2,01%
P2	7,78	7,65	1,6%
P3	7,93	7,67	3,3%
P4	8,11	7,94	2,1%

Tabel 2 menampilkan hasil pengukuran sensor pH dibandingkan dengan pH meter. Pengujian sensor pH dilakukan dengan membandingkan hasil sensor pH yang digunakan dalam sistem dengan pH meter standar. Pengujian dilakukan sekitar empat kali pada sampel air dengan tingkatan pH yang berbeda untuk memahami ketelitian tingkat sensor dalam menyesuaikan pH.

Berdasarkan hasil pengujian, sensor pH menghasilkan pembacaan yang konsisten dengan hasil pengukuran standar. Pada percobaan pertama, sensor mengukur pH 7,58, sedangkan alat standar mengukur pH 7,43 dengan persentase kesalahan 2,01%. Pada dua pengujian, pembacaan sensor pH masing-masing adalah 7,78 dan 7,65, dengan kesalahan 1,6%. Selanjutnya, pada percobaan sensor ketiga, pH adalah 7,93 dan alat standar adalah 7,67, menghasilkan kesalahan 3,3%. Selanjutnya pada percobaan keempat, sensor pH dengan nilai 8,11 dan nilai standar 7,94 dengan kesalahan 2,1%.

Berdasarkan hasil investigasi ini, dapat disimpulkan bahwa sensor pH dapat secara akurat mendeteksi perubahan pH air. Kesalahan rata-rata sekitar 2,25%, sedangkan persentase kesalahan yang diperoleh berkisar antara 1,6% hingga 3,3%. Kesalahan yang relatif kecil menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang sangat baik untuk digunakan dalam sistem pemantauan kualitas air. Meskipun terdapat sedikit perbedaan antara hasil sensor dan peralatan standar, yang terakhir masih tersedia, sehingga sensor pH dapat digunakan untuk memantau kualitas air secara *real-time*. Untuk representasi grafis hasil, lihat Gambar 8.



Gambar 8. Grafik pengujian sensor pH

3. *RTC (Real Time Clock)*

Tabel 3. Ketepatan nilai dari *RTC* dengan jam pada *handphone*

Percobaan	Jam <i>RTC</i>	Jam Handphone	Selisih
P1	16.37.09	16.37.08	1 detik
P2	11.27.43	11.27.41	2 detik
P3	11.27.56	11.27.54	2 detik
P4	16.20.45	16.20.46	1 detik

Hasil pengujian modul *RTC* ditampilkan pada Tabel 3 bersamaan dengan jam telepon. Pengujian *RTC* menghasilkan variasi yang sangat kecil antara waktu yang ditampilkan oleh modul *RTC* dan waktu standar. Pada percobaan pertama (P1), terdapat selisih satu detik antara tampilan *RTC* pukul 16.37.09 dan waktu standar pukul 16.37.08. memiliki selisih waktu 2 detik pada percobaan kedua (P2) karena hasil menunjukkan waktu 11.27.43 dan 11.27.41. Selain itu, pada percobaan ketiga (P3), terdapat selisih 2 detik antara tampilan *RTC* pukul 11.27.56 dan waktu standar pukul 11.27.54. Hasil pada percobaan

keempat (P4), ketika terdapat selisih satu detik antara waktu standar pukul 16.20.46 dan waktu yang ditampilkan *RTC* pukul 16.20.45.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa modul *RTC* menjaga ketepatan waktu. *RTC* memiliki tingkat presisi yang tinggi dan sesuai untuk digunakan sebagai sumber waktu dalam sistem pemantauan dan keamanan kolam ikan karena selisih antara waktu standar dan *RTC* hanya 1 hingga 2 detik. Kinerja keseluruhan sistem tidak terlalu terpengaruh oleh perbedaan waktu yang sangat kecil ini, yang masih dalam batas toleransi yang diizinkan.

3.3 Hasil pengujian deteksi

Pengujian sistem keamanan berbasis YOLOv8 dilakukan untuk mengetahui kemampuan model dalam mendeteksi keberadaan manusia di sekitar area kolam ikan. Evaluasi kinerja deteksi dilakukan menggunakan parameter Presisi dan Sensitivitas, karena kedua parameter tersebut dapat menunjukkan tingkat ketepatan dan kelengkapan hasil deteksi yang dihasilkan oleh model.

Presisi merupakan ukuran yang menunjukkan seberapa tepat sistem dalam melakukan deteksi objek. Nilai presisi menggambarkan persentase objek yang terdeteksi sebagai manusia dan benar-benar merupakan manusia. Semakin tinggi nilai presisi, semakin sedikit kesalahan deteksi yang dilakukan sistem. Presisi dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Presisi} : \frac{TP}{TP + FP} \times 100\%$$

$$\text{Sensitivitas} : \frac{TP}{TP + FN} \times 100\%$$

TP (*True Positive*) = jumlah objek manusia yang berhasil terdeteksi dengan benar.

FP (*False Positive*) = jumlah objek yang terdeteksi sebagai manusia tetapi sebenarnya bukan manusia.

FN (*False Negative*) = jumlah objek manusia yang ada pada citra tetapi tidak berhasil dideteksi oleh sistem.

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan algoritma YOLOv8 dalam mendeteksi keberadaan manusia pada area pengamatan kolam ikan. Setiap percobaan dilakukan selama 5 menit dengan jumlah sampel sebanyak 200 *frame* yang diambil secara berkala. Pada setiap *frame*, hasil deteksi sistem dibandingkan dengan kondisi sebenarnya untuk menentukan nilai *True Positive (TP)*, *False Positive (FP)*, dan *False Negative (FN)*. *True*

Positive (TP) merupakan jumlah objek manusia yang berhasil dideteksi dengan benar oleh sistem, *False Positive* (FP) merupakan jumlah objek selain manusia yang salah terdeteksi sebagai manusia, sedangkan *False Negative* (FN) merupakan jumlah objek manusia yang tidak berhasil dideteksi oleh sistem. Apabila dalam satu *frame* terdapat lebih dari satu orang, maka setiap orang dihitung sebagai satu objek deteksi sehingga jumlah objek yang dievaluasi merupakan hasil perkalian antara jumlah *frame* dan jumlah orang yang berada pada area pengamatan.

Data hasil pengujian tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai presisi dan sensitivitas sebagai parameter evaluasi kinerja algoritma YOLOv8. Nilai presisi menunjukkan tingkat ketepatan sistem dalam mengidentifikasi objek manusia, sehingga semakin tinggi nilai presisi maka semakin kecil kemungkinan sistem melakukan kesalahan deteksi terhadap objek selain manusia. Sementara itu, nilai sensitivitas menunjukkan kemampuan sistem dalam mendeteksi seluruh objek manusia yang berada pada area pengamatan. Semakin tinggi nilai sensitivitas yang diperoleh, maka semakin sedikit objek manusia yang gagal dideteksi oleh sistem. Berdasarkan parameter tersebut, performa algoritma YOLOv8 dapat dievaluasi secara menyeluruh baik dari aspek ketepatan maupun kemampuan deteksi. Hasil pengujian yang diperoleh pada setiap skenario pengamatan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian deteksi

Percobaan	Jumlah orang	TP	FP	FN	Presisi	Sensitivitas
P1	1	185	0	15	100%	92%
P4	2	384	0	16	100%	96%
P3	3	597	0	3	100%	99%

Berdasarkan Tabel 4, pengujian deteksi dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan algoritma YOLOv8 dalam mendeteksi keberadaan manusia pada area pengamatan. Setiap percobaan dilakukan selama 5 menit dengan jumlah sampel sebanyak 200 *frame* yang diambil secara berkala selama proses pengujian. Pada setiap *frame*, sistem membandingkan hasil deteksi dengan kondisi sebenarnya untuk menentukan nilai *True Positive* (TP), *False Positive* (FP), dan *False Negative* (FN). Apabila dalam satu *frame* terdapat lebih dari satu orang, maka setiap orang yang berhasil terdeteksi akan dihitung sebagai satu objek deteksi. Oleh karena itu, jumlah total objek yang dievaluasi merupakan hasil perkalian antara jumlah *frame* dan jumlah orang yang berada pada area pengamatan. Sebagai contoh, pada pengujian dengan dua orang terdapat total 400 objek yang dievaluasi (200 *frame* × 2 orang), sedangkan pada pengujian dengan tiga orang terdapat total 600 objek yang dievaluasi (200 *frame* × 3 orang).

Pada percobaan pertama dengan satu orang, dari total 200 objek yang diamati diperoleh 188 *True Positive* (TP), 0 *False Positive* (FP), dan 12 *False Negative* (FN). Hasil tersebut menghasilkan nilai presisi sebesar 100% dan sensitivitas sebesar 92%. Nilai presisi 100% menunjukkan bahwa seluruh objek yang dideteksi oleh sistem benar-benar merupakan manusia tanpa adanya kesalahan deteksi terhadap objek lain. Sementara itu, nilai sensitivitas 92% menunjukkan bahwa sebagian besar objek manusia berhasil dideteksi, meskipun masih terdapat beberapa *frame* yang tidak berhasil dikenali.

Pada percobaan kedua dengan dua orang, jumlah objek yang dievaluasi menjadi 400 objek. Hasil pengujian menunjukkan nilai *True Positive* (TP) sebanyak 384, *False Positive* (FP) sebanyak 0, dan *False Negative* (FN) sebanyak 16. Berdasarkan hasil tersebut diperoleh nilai presisi sebesar 100% dan sensitivitas sebesar 96%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem tetap mampu mempertahankan akurasi deteksi yang sangat baik meskipun jumlah objek manusia yang diamati bertambah.

Selanjutnya, pada percobaan ketiga dengan tiga orang, total objek yang dievaluasi menjadi 600 objek. Dari jumlah tersebut diperoleh 597 *True Positive* (TP), 0 *False Positive* (FP), dan 3 *False Negative* (FN), sehingga menghasilkan nilai presisi sebesar 100% dan sensitivitas sebesar 99%. Peningkatan nilai sensitivitas pada percobaan ini menunjukkan bahwa algoritma YOLOv8 mampu mendeteksi hampir seluruh objek manusia yang berada di area pengamatan dengan tingkat keberhasilan yang sangat tinggi.

3.4 Hasil pengujian tombol *button*

Pengujian *push button* dilakukan untuk mengetahui apakah kedua tombol yang terdapat pada sistem dapat berfungsi sesuai dengan rancangan. Sistem ini menggunakan dua buah *push button* yang memiliki fungsi berbeda, yaitu *push button* pertama sebagai pengubah *mode* operasi sistem antara *online* dan *offline*, sedangkan *push button* kedua digunakan untuk mengendalikan relai secara manual. Pengujian dilakukan dengan menekan masing-masing tombol beberapa kali, kemudian mengamati respons yang dihasilkan oleh sistem.

Pada pengujian *push button mode*, parameter yang diamati meliputi perubahan status sistem dari *mode online* ke *mode offline* maupun sebaliknya, serta perubahan indikator LED yang menunjukkan kondisi sistem. Sementara itu, pada pengujian *push button relai*, parameter yang diamati adalah kemampuan relai dalam berubah dari kondisi aktif (*ON*) menjadi tidak aktif (*OFF*) atau sebaliknya setelah tombol ditekan. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan fungsi yang telah dirancang untuk mengetahui apakah setiap tombol dapat bekerja secara normal.

Tabel 5. Hasil pengujian tombol *button* pengubah *mode*

Percobaan	fungsi	Status LCD awal	Status LCD akhir	Hasil	Status
P1	<i>Offline - online</i>	Mode offline	Mode online	Sesuai	Berhasil
P2	<i>Online - offline</i>	Mode online	Mode offline	Sesuai	Berhasil
P3	<i>Offline - online</i>	Mode offline	Mode online	Sesuai	Berhasil
P4	<i>Online - offline</i>	Mode online	Mode offline	Sesuai	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 5, *push button* pertama yang berfungsi untuk mengubah *mode* operasi sistem dari *offline* ke *online* maupun *online* ke *offline* telah bekerja sesuai dengan fungsi yang dirancang. Pengujian dilakukan sebanyak empat kali dengan melakukan pergantian *mode* secara bergantian untuk memastikan bahwa sistem mampu merespons setiap penekanan tombol dengan baik.

Pada pengujian pertama (P1), sistem berhasil berpindah dari *mode offline* ke *mode online* sesuai dengan perintah yang diberikan melalui *push button*. Selanjutnya pada pengujian kedua (P2), sistem kembali berhasil berpindah dari *mode online* ke *mode offline* tanpa mengalami kendala. Pengujian yang sama dilakukan kembali pada percobaan ketiga (P3) dan keempat (P4), dengan hasil yang menunjukkan bahwa perubahan *mode* operasi selalu berlangsung sesuai dengan kondisi yang diharapkan.

Keberhasilan setiap percobaan menunjukkan bahwa *push button* mampu mengirimkan sinyal masukan dengan baik kepada mikrokontroler ESP32 sehingga sistem dapat mengubah status operasional secara tepat. Selain itu, perubahan *mode* juga diikuti dengan perubahan indikator LED sebagai penanda kondisi sistem, sehingga pengguna dapat mengetahui apakah perangkat sedang berada pada *mode online* atau *offline*.

Tabel 6. Hasil pengujian tombol *button* relai

Percobaan	fungsi	Hasil	Status
P1	Menghidupkan relai	Sesuai	Berhasil
P2	Mematikan relai	Sesuai	Berhasil
P3	Menghidupkan relai	Sesuai	Berhasil
P4	Mematikan relai	Sesuai	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 6, *push button* kedua yang berfungsi sebagai pengendali relai secara manual telah bekerja sesuai dengan rancangan sistem. Pengujian dilakukan sebanyak empat kali dengan memberikan perintah untuk menghidupkan dan mematikan relai secara bergantian. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa

setiap penekanan *push button* dapat diterima dengan baik oleh mikrokontroler ESP32 sehingga relai dapat berubah kondisi sesuai dengan perintah yang diberikan.

Pada pengujian pertama (P1), relai berhasil dihidupkan setelah *push button* ditekan, kemudian pada pengujian kedua (P2), relai berhasil dimatikan sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. Pengujian serupa kembali dilakukan pada percobaan ketiga (P3) dan keempat (P4), di mana relai kembali berhasil berubah dari kondisi mati menjadi hidup maupun dari hidup menjadi mati tanpa mengalami kesalahan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap penekanan *push button* menghasilkan respons yang sesuai dengan fungsi yang diinginkan. Relai mampu mengubah status ON dan OFF secara tepat, sehingga dapat digunakan sebagai media pengendali beban listrik pada sistem. Respons yang diberikan juga berlangsung secara langsung tanpa adanya keterlambatan yang mengganggu proses pengoperasian perangkat.

3.5 Hasil pengujian air kolam

Pengujian kualitas air kolam dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam melakukan monitoring nilai pH dan suhu air pada waktu pengukuran yang berbeda. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sensor pH dan sensor suhu DS18B20 dapat membaca kondisi air kolam secara konsisten serta menampilkan hasil pengukuran sesuai dengan kondisi aktual pada saat pengujian. Pengambilan data dilakukan pada waktu yang berbeda, yaitu pagi, siang, sore, dan malam hari, sehingga dapat diketahui perubahan nilai pH dan suhu yang terjadi akibat pengaruh kondisi lingkungan.

Pada setiap waktu pengujian, sensor pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman air, sedangkan sensor suhu DS18B20 digunakan untuk mengukur temperatur air kolam. Data hasil pengukuran kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32, ditampilkan pada LCD, dan dikirimkan ke Telegram ketika sistem berada pada *mode online*. Parameter yang diamati dalam pengujian ini meliputi waktu pengujian, nilai pH air, dan suhu air yang diperoleh dari kedua sensor

Tabel 7. Hasil pengujian kualitas air kolam

Percobaan	Waktu pengujian	Sensor pH	Sensor suhu	Status
P1	Pagi	7,83	25,6	Aman
P2	Siang	7,92	26,8	Aman
P3	Sore	7,76	26,1	Aman
P4	Malam	8,05	24,8	Aman

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 7, sistem monitoring berhasil melakukan pembacaan nilai pH dan suhu air kolam pada empat waktu pengujian, yaitu pagi, siang, sore, dan malam hari. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam memantau kondisi kualitas air kolam pada waktu yang berbeda serta memastikan bahwa nilai pH dan suhu air masih berada pada kondisi yang aman bagi pertumbuhan ikan lele. Pada pengujian pertama (P1) yang dilakukan pada pagi hari, diperoleh nilai pH sebesar 7,83 dan suhu air sebesar 25,6°C. Pengujian kedua (P2) pada siang hari menunjukkan nilai pH 7,92 dengan suhu 26,8°C. Selanjutnya, pada pengujian ketiga (P3) yang dilakukan pada sore hari diperoleh nilai pH 7,76 dan suhu 26,1°C, sedangkan pada pengujian keempat (P4) pada malam hari diperoleh nilai pH 8,05 dengan suhu 24,8°C. Berdasarkan seluruh hasil pengujian tersebut, kondisi air kolam dikategorikan dalam keadaan aman karena nilai pH dan suhu masih berada pada kisaran yang sesuai untuk budidaya ikan lele.

Hasil pengujian ini sejalan dengan penelitian (Azizah et al., 2022) yang menyatakan bahwa kisaran pH yang baik untuk budidaya ikan lele berada pada rentang 6,5–8,5. Nilai pH yang diperoleh pada seluruh waktu pengujian berada pada rentang 7,76–8,05, sehingga masih termasuk dalam kisaran optimal untuk mendukung aktivitas metabolisme, pertumbuhan, dan kelangsungan hidup ikan lele. Selain itu, hasil pengukuran suhu juga sesuai dengan penelitian (Sumardiono et al., 2020), yang menjelaskan bahwa suhu air yang optimal untuk budidaya ikan lele berada pada kisaran 25–30°C. Meskipun pada pengujian malam hari suhu air tercatat 24,8°C, nilai tersebut masih sangat dekat dengan kisaran optimal dan tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap kondisi air kolam. Suhu pada rentang tersebut masih mampu mendukung aktivitas metabolisme dan pertumbuhan ikan secara normal.

Tabel 8. Hasil pengujian kualitas air yang berbeda

Percobaan	Jenis air	Sensor pH	Sensor suhu	Status
P1	Air sabun	10,05	28,3	Tidak normal
P2	Air jeruk panas	3,33	32,5	Tidak normal
P3	Air dingin	7,79	18,6	Tidak normal
P4	Air biasa	7,75	27,4	Normal

Berdasarkan Tabel 8, pengujian dilakukan menggunakan empat jenis air yang memiliki karakteristik berbeda untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi kondisi kualitas air berdasarkan nilai pH dan suhu. Pada penelitian ini, kondisi air dikategorikan normal apabila memiliki nilai pH antara 6,5–8,5 dan suhu antara 24,5–30°C, sedangkan nilai di luar rentang

tersebut dikategorikan sebagai tidak normal. Rentang tersebut digunakan sebagai acuan karena merupakan kondisi yang sesuai untuk mendukung pertumbuhan dan kesehatan ikan lele.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada percobaan 1 menggunakan air sabun, sensor membaca nilai pH sebesar 10,05 dengan suhu 28,3°C. Meskipun suhu masih berada dalam rentang normal, nilai pH melebihi batas aman sehingga sistem mengklasifikasikan kondisi air sebagai tidak normal. Kondisi air dengan pH yang terlalu basa tersebut tidak sesuai untuk budidaya ikan lele karena dapat mengganggu proses fisiologis ikan dan menurunkan kualitas lingkungan hidupnya. Pada kondisi ini, sistem mengaktifkan buzzer secara putus-putus dan mengirimkan notifikasi melalui Telegram sebagai peringatan kepada pengguna.

Pada percobaan 2 menggunakan air jeruk panas, diperoleh nilai pH sebesar 3,33 dan suhu 32,5°C. Nilai pH berada di bawah batas normal, sedangkan suhu melebihi batas maksimum yang telah ditentukan. Oleh karena itu, kedua parameter menunjukkan kondisi tidak aman sehingga sistem memberikan status tidak normal. Air dengan kondisi sangat asam dan suhu yang terlalu tinggi tidak sesuai untuk ikan lele karena dapat menyebabkan stres, mengganggu metabolisme, serta meningkatkan risiko gangguan kesehatan pada ikan. Sistem kemudian mengaktifkan buzzer dan mengirimkan notifikasi Telegram sebagai bentuk peringatan.

Selanjutnya pada percobaan 3 menggunakan air dingin, sensor membaca nilai pH sebesar 7,79 yang masih berada dalam rentang normal, namun suhu yang diperoleh hanya 18,6°C, lebih rendah dari batas minimum yaitu 24,5°C. Meskipun nilai pH telah memenuhi kisaran yang dianjurkan, suhu air yang terlalu rendah menyebabkan kondisi air tetap dikategorikan tidak normal. Suhu tersebut tidak sesuai untuk budidaya ikan lele karena dapat menurunkan aktivitas, nafsu makan, serta memperlambat pertumbuhan ikan. Oleh karena itu, sistem mengaktifkan buzzer dan mengirimkan notifikasi Telegram kepada pengguna.

Sementara itu, pada percobaan 4 menggunakan air biasa, diperoleh nilai pH sebesar 7,75 dan suhu 27,4°C. Kedua nilai tersebut berada dalam rentang normal sehingga sistem memberikan status normal. Kondisi ini sesuai untuk kehidupan dan pertumbuhan ikan lele karena memenuhi batas kualitas air yang direkomendasikan. Pada kondisi tersebut buzzer tidak aktif dan tidak ada notifikasi yang dikirim melalui Telegram karena kualitas air masih berada dalam batas aman.

3.6 Hasil pengujian keamanan

Kemampuan sistem keamanan berbasis algoritma YOLOv8 dalam mendeteksi keberadaan manusia di sekitar kolam ikan diuji melalui beberapa skenario pengujian pada kondisi pencahayaan yang berbeda. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah sistem mampu mengenali objek manusia secara *real-time* dan memberikan respons sesuai dengan

rancangan sistem. Pada setiap pengujian, objek manusia ditempatkan di area pengamatan kamera, kemudian diamati kemampuan sistem dalam mendeteksi objek serta menampilkan hasil deteksi pada layar.

Parameter yang diamati dalam pengujian ini meliputi waktu pengujian, kondisi lampu, dan hasil deteksi. Pengujian dilakukan pada waktu pagi, siang, sore, dan malam hari untuk mengetahui kinerja sistem pada intensitas cahaya yang berbeda. Sistem dinyatakan berhasil apabila objek manusia dapat dikenali oleh algoritma YOLOv8 dan ditandai dengan munculnya kotak pembatas (*bounding box*) beserta label Person pada layar secara *real-time*.

Tabel 9. Hasil pengujian keamanan

Percobaan	Waktu pengujian	Kondisi lampu	Kondisi buzzer	Hasil deteksi
P1	Pagi	Mati	Menyala	Berhasil
P2	Siang	Mati	Menyala	Berhasil
P3	Sore	Mati	Menyala	Berhasil
P4	Malam	Mati	Tidak menyala	Tidak Berhasil
P5	Malam	Hidup	Menyala	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 9, sistem keamanan berbasis algoritma YOLOv8 menunjukkan kemampuan yang baik dalam mendeteksi keberadaan manusia pada berbagai kondisi waktu pengujian. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali dengan variasi waktu dan kondisi pencahayaan untuk mengetahui pengaruh intensitas cahaya terhadap kinerja sistem deteksi. Parameter yang diamati meliputi waktu pengujian, kondisi lampu, serta keberhasilan sistem dalam mendeteksi objek manusia yang berada di area pengamatan kamera dan menyalakan buzzer di setiap pengujiannya.

Pada pengujian pertama (P1) yang dilakukan pada pagi hari dengan kondisi lampu mati, sistem berhasil mendeteksi keberadaan manusia secara *real-time*. Hal ini menunjukkan bahwa cahaya alami pada pagi hari sudah cukup untuk mendukung kamera dalam menangkap citra sehingga algoritma YOLOv8 dapat mengenali objek manusia dengan baik. Selanjutnya pada pengujian kedua (P2) yang dilakukan pada siang hari dengan kondisi lampu tetap mati, sistem juga berhasil mendeteksi objek manusia. Kondisi ini menunjukkan bahwa intensitas cahaya yang tinggi pada siang hari memberikan kualitas citra yang baik sehingga proses deteksi dapat berlangsung secara optimal.

Pada pengujian ketiga (P3) yang dilakukan pada sore hari, sistem kembali berhasil mendeteksi keberadaan manusia meskipun intensitas cahaya mulai berkurang dibandingkan

siang hari. Hasil ini menunjukkan bahwa algoritma YOLOv8 masih mampu bekerja dengan baik selama objek yang diamati memperoleh pencahayaan yang cukup dari lingkungan sekitar.

Berbeda dengan pengujian sebelumnya, pada pengujian keempat (P4) yang dilakukan pada malam hari dengan kondisi lampu mati, sistem tidak berhasil mendeteksi keberadaan manusia. Kegagalan deteksi ini disebabkan oleh minimnya intensitas cahaya sehingga kamera tidak mampu menangkap citra objek dengan jelas. Akibatnya, algoritma YOLOv8 tidak memperoleh informasi visual yang memadai untuk melakukan proses identifikasi objek manusia.

Untuk mengatasi kondisi tersebut, dilakukan pengujian kelima (P5) pada malam hari dengan menyalakan lampu penerangan di sekitar area kolam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kembali berhasil mendeteksi keberadaan manusia secara *real-time*. Hal ini membuktikan bahwa penambahan pencahayaan mampu meningkatkan kualitas citra yang diterima kamera sehingga algoritma YOLOv8 dapat mengenali objek manusia dengan baik meskipun pengujian dilakukan pada malam hari.

3.7 Analisis dan pembahasan

Berdasarkan hasil penilaian yang telah dilakukan, sistem pemantauan dan keamanan kolam ikan berbasis *Internet of Things* (IoT) dan algoritma YOLOv8 mampu bekerja sesuai dengan desain yang telah dibuat. Pengujian dilakukan terhadap fungsi tombol pengubah *mode*, tombol pengendali relai, kualitas air kolam, sensor suhu, sensor pH, modul RTC, komunikasi Telegram, serta sistem deteksi manusia menggunakan kamera dan algoritma YOLOv8. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap komponen dapat diintegrasikan dengan baik sehingga perangkat mampu menjalankan fungsi pemantauan dan keamanan kolam ikan dalam satu sistem yang terintegrasi. Berdasarkan hasil pengujian tombol pengubah *mode*, seluruh percobaan menunjukkan bahwa perpindahan *mode* dari *offline* ke *online* maupun dari *online* ke *offline* dapat dilakukan dengan baik. Pada setiap percobaan, perubahan *mode* sesuai dengan fungsi yang dirancang dan seluruh pengujian memperoleh status berhasil. Hal ini menunjukkan bahwa *push button* sebagai pengendali *mode* memiliki respons yang baik sehingga pengguna dapat mengubah kondisi sistem sesuai kebutuhan tanpa mengalami kegagalan perpindahan *mode*.

Pengujian tombol pengendali relai juga menunjukkan hasil yang baik. Pada seluruh percobaan, relai berhasil menyala maupun mati sesuai dengan fungsi tombol yang ditekan. Tidak ditemukan kesalahan pada proses pengaktifan maupun penonaktifan relai sehingga dapat disimpulkan bahwa mekanisme pengendalian relai melalui *push button* telah bekerja dengan baik dan sesuai dengan rancangan sistem. Pengujian kualitas air kolam dilakukan pada empat waktu yang berbeda, yaitu pagi, siang, sore, dan malam hari. Hasil pengukuran menunjukkan

bahwa nilai pH berada pada rentang 7,76–8,05, sedangkan suhu air berada pada rentang 24,8–26,8°C. Seluruh hasil pengukuran menunjukkan status aman karena masih berada pada kisaran yang sesuai untuk budidaya ikan lele. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pemantauan kualitas air secara *real-time* pada berbagai waktu pengujian sehingga perubahan kondisi air dapat diketahui dengan cepat apabila terjadi penyimpangan nilai pH maupun suhu.

Dalam pengujian sensor suhu, hasil pembacaan sensor menunjukkan nilai yang sama dengan alat ukur standar dalam semua percobaan. Nilai suhu diperoleh dengan rata-rata persentase kesalahan sebesar 0,25%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor suhu yang digunakan memiliki tingkat akurasi yang baik dan mampu memberikan data yang sesuai dengan kondisi aktual. Akurasi sensor suhu sangat penting karena suhu merupakan salah satu parameter utama yang memengaruhi pertumbuhan dan kesehatan ikan pada kolam budidaya. Hasil uji sensor pH menunjukkan bahwa sensor mampu mengukur nilai pH air dengan cukup baik, meskipun masih terdapat sedikit perbedaan dibandingkan alat ukur konvensional. Persentase kesalahan yang diperoleh berkisar antara 1,6% hingga 3,3%. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh faktor kalibrasi sensor, kondisi *probe* pH, gangguan listrik pada rangkaian, maupun kondisi lingkungan saat pengukuran dilakukan. Namun demikian, tingkat kesalahan tersebut masih berada dalam batas yang dapat diterima sehingga sensor pH tetap layak digunakan untuk memantau perubahan kualitas air kolam secara *real-time*.

Dalam pengujian modul RTC, diperoleh selisih waktu sekitar 1–2 detik dibandingkan waktu pada telepon seluler. Selisih yang sangat kecil tersebut menunjukkan bahwa modul RTC memiliki tingkat stabilitas dan akurasi yang sangat baik dalam menyimpan informasi waktu sehingga dapat digunakan sebagai acuan penjadwalan otomatis pada sistem. Pengujian sistem deteksi manusia menggunakan algoritma YOLOv8 dilakukan pada lima kondisi pengujian yang berbeda berdasarkan waktu dan kondisi pencahayaan serta 3 kondisi dengan pengambilan 200 *frame* setiap 5 menitnya dengan jumlah orang yang berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi keberadaan manusia pada kondisi pagi, siang, sore, dan malam hari ketika lampu dinyalakan. Namun, pada kondisi malam hari tanpa pencahayaan, sistem tidak berhasil mendeteksi keberadaan manusia. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas cahaya sangat memengaruhi performa deteksi kamera dan algoritma YOLOv8. Dalam pengambilan *frame* terdapat beberapa *frame* yang dimana kamera tidak dapat mendeteksi manusia atau nilai dari FN meningkat hingga 16 dengan terbanya 8 *frame* yang tidak dapat mendeteksi manusia, yang dimana nilai tersebut masih dalam kategori kecil. Meskipun demikian, pada kondisi pencahayaan yang memadai, sistem mampu melakukan deteksi secara

baik sehingga dapat menjalankan proses perekaman otomatis, pengiriman notifikasi Telegram, serta mengaktifkan buzzer sebagai sistem peringatan.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, sistem pemantauan dan keamanan kolam ikan berbasis *Internet of Things* (IoT) dan algoritma YOLOv8 berhasil dibangun dan beroperasi sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem mampu melakukan pemantauan kualitas air menggunakan sensor suhu dan sensor pH yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32. Data hasil pengukuran dapat ditampilkan secara lokal melalui LCD serta dikirimkan secara *real-time* melalui aplikasi Telegram sehingga pengguna dapat memantau kondisi kolam dari jarak jauh. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan dua tombol (*push button*) yang berfungsi untuk mengubah *mode* sistem dari *offline* ke *online* maupun sebaliknya, serta mengendalikan relai secara manual. Berdasarkan hasil pengujian, kedua tombol tersebut mampu menjalankan fungsinya dengan baik pada seluruh percobaan.

Hasil pengujian sensor suhu menunjukkan tingkat akurasi yang baik dengan rata-rata persentase kesalahan sebesar 0,25% dibandingkan alat ukur konvensional. Pengujian sensor pH juga menunjukkan bahwa sensor mampu melakukan pembacaan kualitas air dengan persentase kesalahan antara 1,6% hingga 3,3%, sehingga masih layak digunakan untuk memantau kondisi air kolam secara *real-time*. Pengujian kualitas air pada waktu pagi, siang, sore, dan malam menunjukkan bahwa nilai pH berada pada rentang 7,76–8,05 dan suhu berada pada rentang 24,8–26,8°C, sehingga kondisi air kolam masih berada pada kategori aman untuk budidaya ikan lele. Selain itu, pengujian modul RTC menunjukkan selisih waktu hanya 1–2 detik dibandingkan waktu standar, sehingga modul RTC memiliki tingkat akurasi yang baik sebagai acuan waktu pada sistem.

Implementasi algoritma YOLOv8 menggunakan webcam yang terhubung ke komputer mampu mendeteksi keberadaan manusia secara *real-time*. Berdasarkan hasil pengujian pada berbagai kondisi pencahayaan, sistem berhasil mendeteksi manusia pada kondisi pagi, siang, sore, dan malam hari ketika lampu dinyalakan. Namun, pada kondisi malam hari tanpa pencahayaan, sistem tidak berhasil mendeteksi objek manusia. Hal tersebut menunjukkan bahwa intensitas cahaya memengaruhi kemampuan kamera dan algoritma YOLOv8 dalam melakukan deteksi. Ketika manusia berhasil dideteksi, sistem secara otomatis melakukan perekaman video, mengirimkan hasil rekaman ke Telegram, serta mengaktifkan buzzer sebagai peringatan keamanan. Selain itu, pengguna juga dapat melakukan perekaman secara manual melalui perintah pada Telegram Bot. Integrasi antara sensor, ESP32, Telegram Bot, *push button*, dan algoritma YOLOv8 menghasilkan sistem yang mampu menjalankan fungsi pemantauan kualitas

air sekaligus keamanan kolam ikan dalam satu perangkat. Sistem dapat memberikan informasi kondisi kolam secara cepat, tepat, dan *real-time*, serta memudahkan pengguna dalam melakukan pemantauan dan pengendalian tanpa harus berada di lokasi kolam.

Meskipun sistem yang telah dibuat bekerja dengan baik, masih terdapat beberapa pengembangan yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya. Untuk meningkatkan kemampuan pemantauan kualitas air, dapat ditambahkan sensor lain seperti sensor oksigen terlarut (DO), kekeruhan air, tinggi permukaan air, dan kadar amonia. Pada sisi keamanan, penggunaan kamera dengan resolusi yang lebih tinggi atau pelatihan *model* YOLO menggunakan *dataset* yang lebih spesifik terhadap lingkungan kolam ikan diharapkan mampu meningkatkan performa deteksi, terutama pada kondisi pencahayaan rendah. Selain itu, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan fitur pengenalan wajah untuk membedakan pemilik kolam dan orang lain, penyimpanan data berbasis *cloud* untuk analisis jangka panjang, serta pengendalian otomatis terhadap perangkat seperti aerator, pompa air, dan pemberi pakan berdasarkan kondisi kualitas air yang terdeteksi. Dengan pengembangan tersebut, sistem diharapkan menjadi solusi yang lebih cerdas, efisien, dan terintegrasi dalam mendukung budidaya ikan lele berbasis *Internet of Things*.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, V., & Erniwati, S. (2026). YOLOv8 for Object Detection : A Comprehensive Review of Advances , Techniques , and Applications. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED COMPUTING AND INFORMATICS*, 2(1), 53–61.
- Azizah, N. F. N., Pujiharsono, H., & Afandi, M. A. (2022). Sistem Pengendali Suhu dan Kadar pH pada Kolam Ikan Lele Berbasis IoT pada Desa Kutaringin Kabupaten Banjarnegara. *JRST (Jurnal Riset Sains Dan Teknologi)*, 6(1), 65. <https://doi.org/10.30595/jrst.v6i1.11693>
- Azreen, N., Jais, M., Fikri, A., Saufi, M., Kassim, M., Marlina, M., Karim, A., Abdulsalam, M., & Atirah, N. (2024). Improved accuracy in IoT-Based water quality monitoring for aquaculture tanks using low-cost sensors: Asian seabass fish farming. *Heliyon*, 10(8), e29022. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29022>
- Faith, O., Oyenike, M., Ijeoma, J., & Emmy, D. (2025). Development of an IoT-Based Fish Pond Water Quality Monitoring System. *Journal of Science Research and Reviews*, 40–47.
- Hidayat, F., Harijanto, A., & Supriadi, B. (2022). RANCANG BANGUN ALAT UKUR SISTEM MONITORING pH DAN SUHU KOLAM IKAN LELE BERBASIS IoT DENGAN ESP8266. *Jurnal Kumparan Fisika*, 5(2).
- Rojas, J., Bonifacio, R., Peña, J., Raquel, D., Leon, Q., Delia, C., Peña, R., Grisel, K., & Torres, P. (2025). Sensors and IoT for Water Quality Monitoring : A Systematic Review of Technologies and Field Validation. *Journal of Robotics and Control*, 6(6), 2844–2858. <https://doi.org/10.18196/jrc.v6i6.28457>

- Sumardiono, A., Rahmat, S., Alimudin, E., & Ilahi, N. A. (2020). Sistem Kontrol-Monitoring Suhu dan Kadar Oksigen pada Kolam Budidaya Ikan Lele. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 5(2), 231. <https://doi.org/10.31544/jtera.v5.i2.2020.231-236>
- Widodo, T., Santoso, A. B., Ishak, S. I., & Rumeon, R. (2023). Sistem Kendali Proporsional Kualitas Air berupa Ph dan Suhu pada Budidaya Ikan Lele Berbasis IoT. *Jurnal Edukasi Dan Penelitian Informatika (JEPIN)*, 9(1), 59. <https://doi.org/10.26418/jp.v9i1.59607>
- Wulansari, K., Razak, A., & Vauziah. (2022). PENGARUH SUHU TERHADAP PERTUMBUHAN IKAN LELE SANGKURIANG (*Clarias gariepinus*) DAN IKAN LELE DUMBO (*Clarias gariepinus* x *Clarias fiscus*). *Konservasi Hayati*, 18(1), 31–39.
- Zafi, A., Saputra, B., & Bianto, M. (2024). THE MONITORING SYSTEM FOR WATER QUALITY IS BASED ON THE *INTERNET OF THINGS* (IOT) AND USES A TDS SENSOR. *Indonesian Journal of Engineering, Science and Technology*, 01(02).

