

PERANCANGAN SISTEM MONITORING KUALITAS AIR DAN FEEDER OTOMATIS UNTUK KOLAM IKAN PATIN BERBASIS IoT

Karlina Sari Cahyaningrum; Fajar Suryawan. S.T., M.Eng.Sc.,Ph.D
Teknik Elektro; Teknik; Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Kualitas air yang stabil dan ketersediaan pakan ikan yang memadai merupakan dua faktor penting yang menentukan keberhasilan budidaya ikan patin. Penelitian ini bertujuan untuk berfokus pada perancangan dan implementasi sebuah sistem berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu memantau parameter kualitas air sekaligus mengotomatisasi proses pemberian pakan, dengan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pengendali utama. Untuk mendukung fungsi tersebut, sistem dilengkapi beberapa komponen pendukung, yaitu sensor pH, sensor TDS, sensor suhu DS18B20, modul real-time clock DS3231, motor servo untuk mekanisme feeder, pompa peristaltik yang berfungsi menambahkan larutan pH Up dan pH Down, serta integrasi dengan aplikasi Blynk untuk keperluan pemantauan dari jarak jauh. Pendekatan Mekanisme Pengendalian pH digunakan dalam mengatur logika kendali pH, dengan kategori kondisi normal pada rentang 6,5 hingga 7,5, kondisi siaga apabila nilai berada di bawah 6,0 atau di atas 8,0, dan kondisi darurat apabila nilai turun di bawah 5,0 atau naik melampaui 9,5. Dari hasil pengujian, diperoleh nilai akurasi sensor suhu DS18B20 sebesar 98,13%, sensor pH sebesar 97,16%, dan sensor TDS sebesar 94,54%. Ujicoba juga menunjukkan bahwa sistem dapat mengenali perubahan kondisi pH air dan merespons dengan mengaktifkan pompa secara otomatis tanpa intervensi manual. Pada sisi pemberian pakan, mekanisme feeder terbukti dapat berjalan baik melalui penjadwalan otomatis maupun pengoperasian manual, baik lewat tombol fisik maupun melalui aplikasi Blynk. Selain fungsi kendali tersebut, sistem juga mampu mengirimkan data sensor beserta status aktuator ke aplikasi Blynk secara berkelanjutan dan langsung. Secara umum, hasil penelitian membuktikan bahwa sistem yang dibangun dapat berfungsi sebagaimana mestinya dalam memantau kualitas air sekaligus menjalankan pemberian pakan otomatis pada kolam budidaya ikan patin.

Kata Kunci: ESP32, feeder otomatis, IoT, monitoring kualitas air, ikan patin.

Abstract

Stable water quality and adequate feed availability are two main factors that determine the success of catfish cultivation. This research focuses on the design and implementation of an Internet of Things (IoT) based system that is able to monitor water quality parameters while automating the feeding process, with an ESP32 microcontroller as the main control unit. To support this function, the system is equipped with several supporting components, namely a pH sensor, a TDS sensor, a DS18B20 temperature sensor, a DS3231 real-time clock module, a servo motor for the feeder mechanism, a peristaltic pump that functions to add pH Up and pH Down solutions, and integration with the Blynk application for remote monitoring purposes. A Mekanisme Pengendalian pH approach is used in managing the pH control logic, with normal conditions in the range of 6.5 to 7.5, standby conditions if the value is below 6.0 or above 8.0, and emergency conditions if the value drops below 5.0 or rises above 9.5. The test results showed that the DS18B20 temperature sensor achieved an accuracy of 98.13%, the pH sensor 97.16%, and the TDS sensor 94.54%. The test also demonstrated that the system can recognize changes in water pH and respond by automatically activating the pump without manual intervention. On the feeding side, the feeder mechanism was proven to work well through automatic scheduling and manual operation, either via physical buttons or through the Blynk application. In addition to these control functions, the system is also capable of sending sensor data and actuator status to the Blynk application continuously and directly. In general, the research results prove that the system built can function properly in monitoring water quality while carrying out automatic feeding in catfish cultivation ponds.

Keywords: automatic feeder, catfish, ESP32, IoT, water quality monitoring.

1. PENDAHULUAN

Ikan patin (*Pangasius hypophthalmus*) merupakan salah satu komoditas perikanan air tawar yang memiliki nilai ekonomis tinggi dan banyak dibudidayakan di Indonesia. Budidaya ikan patin terus berkembang karena tingginya permintaan pasar serta kemampuan ikan ini untuk dipelihara pada berbagai sistem seperti kolam, keramba jaring tancap, maupun keramba jaring apung, sehingga menjadikannya komoditas unggulan yang berpotensi meningkatkan pendapatan pembudidaya ikan air tawar (WWF-Indonesia, 2015). Ikan patin banyak ditemukan di wilayah Sumatra, Kalimantan, dan sebagian Pulau Jawa. Selain memiliki harga jual yang cukup tinggi, ikan patin juga mengandung protein yang bermanfaat bagi tubuh sehingga banyak diminati masyarakat sebagai sumber pangan (Susanto, Sukadarmika and Setiawan, 2021). Dari sisi prospek ekonomi, permintaan pasar terhadap ikan patin terus meningkat, namun keberhasilan budidayanya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan pemeliharaan, terutama kualitas air kolam yang digunakan selama proses budidaya (Aldaka, 2023).

Kualitas air merupakan faktor paling penting dalam keberhasilan budidaya ikan air tawar. Parameter kualitas air seperti pH, suhu, kekeruhan, dan kadar oksigen terlarut memiliki pengaruh besar terhadap pertumbuhan dan tingkat kelangsungan hidup ikan. Perubahan kualitas air yang tidak terkontrol dapat menyebabkan stres, gangguan pertumbuhan, hingga kematian ikan, sehingga diperlukan sistem pemantauan yang mampu memberikan informasi kondisi air secara cepat dan akurat (Indartono, Kusuma and Putra, 2020). Dalam budidaya ikan patin secara khusus, suhu air yang baik berada pada kisaran 25°C–30°C, sedangkan nilai pH yang sesuai berada pada rentang 6–8. Apabila parameter tersebut berada di luar batas yang ditentukan, maka pertumbuhan ikan dapat terganggu dan risiko kematian akan meningkat (Aldaka, 2023).

Selain kualitas air, faktor lain yang sangat menentukan keberhasilan budidaya adalah pemberian pakan. Ikan membutuhkan pakan yang diberikan secara teratur dan berkelanjutan untuk menunjang pertumbuhan yang optimal. Kesalahan dalam waktu maupun jumlah pemberian pakan dapat menyebabkan pemborosan biaya produksi sekaligus menurunkan kualitas air kolam akibat sisa pakan yang tidak termakan oleh ikan (Gunawan and Ahmadi, 2024). Pakan bahkan menjadi komponen biaya terbesar dalam usaha budidaya ikan, mencapai sekitar 70–90% dari total biaya operasional, sehingga pengelolaan pakan yang tepat sangat diperlukan untuk meningkatkan efisiensi produksi sekaligus menjaga pertumbuhan ikan agar tetap optimal (Tahapari and Darmawan, 2018). Hal ini diperkuat oleh penelitian yang menunjukkan bahwa tingkat pemberian pakan yang sesuai berpengaruh terhadap laju pertumbuhan, efisiensi pakan, dan tingkat kelangsungan hidup ikan patin, sehingga pengaturan jumlah pakan menjadi salah satu aspek penting yang harus diperhatikan dalam kegiatan budidaya (Ida Handayani, Erwin Nofyan, 2014).

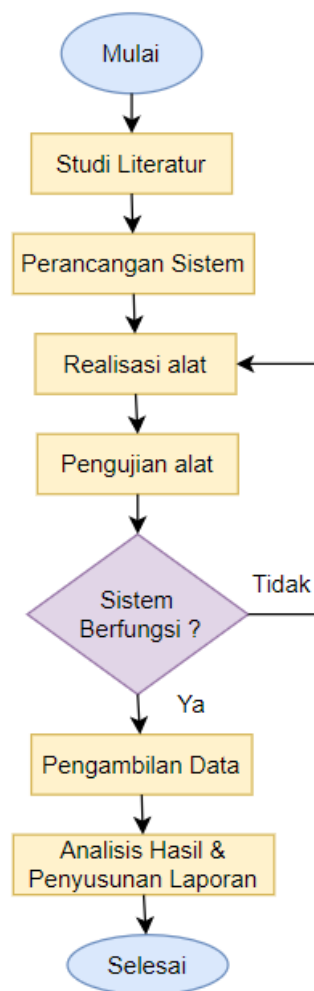
Seiring berkembangnya teknologi, sistem otomatisasi berbasis Internet of Things (IoT) mulai

banyak diterapkan untuk membantu proses budidaya ikan secara lebih efisien. Berbagai penelitian telah mengembangkan sistem yang mengintegrasikan pemantauan kualitas air dengan pemberian pakan otomatis. Sistem pakan otomatis dan monitoring Total Dissolved Solid (TDS) berbasis IoT telah dikembangkan dan terbukti mampu memberikan pakan secara otomatis sesuai jadwal serta memantau kualitas air dari jarak jauh (Balvin Immanuel Koromari, 2023). Penelitian lain memanfaatkan sensor suhu, sensor pH, dan sensor kekeruhan yang terhubung dengan NodeMCU untuk memantau kualitas air pada budidaya ikan patin secara real-time, di mana sistem yang dikembangkan mampu mengirimkan data hasil pengukuran ke perangkat pengguna melalui jaringan internet sehingga memudahkan pengawasan kolam budidaya (Susanto, Sukadarmika and Setiawan, 2021). Selain itu, sistem monitoring kekeruhan air dan pemberian pakan otomatis berbasis NodeMCU juga telah dirancang, di mana sistem tersebut mampu melakukan pengurasan air secara otomatis ketika tingkat kekeruhan melebihi batas yang ditentukan serta memberikan pakan secara otomatis berdasarkan jadwal menggunakan modul RTC (Putrawan, Rahardjo and Agung, 2019). Penelitian serupa juga mengembangkan sistem pemantau kekeruhan air dan pemberi makan otomatis berbasis mikrokontroler yang mampu memberikan pakan sesuai jadwal serta melakukan pengukuran kekeruhan air untuk membantu pembudidaya menjaga kondisi lingkungan pemeliharaan (Oktafiadi, 2016).

2. METODE

Sebagian besar budidaya ikan patin masih dikelola dengan cara konvensional, yaitu pengecekan kondisi air dan pemberian pakan yang dilakukan secara manual oleh pembudidaya. Cara ini memiliki beberapa kelemahan, antara lain keterlambatan dalam mendeteksi perubahan kualitas air seperti suhu, pH serta Total Dissolved Solids (TDS), serta memiliki resiko keterlambatan atau ketidaksesuaian jumlah pakan yang diberikan. Kondisi air yang tidak terpantau secara kontinu yang nantinya dapat menyebabkan ikan mengalami stres hingga terjadi kematian, terutama akibat fluktuasi pH yang tidak segera dikoreksi. Penelitian ini memiliki tujuan untuk merancang dan merealisasikan sistem monitoring kualitas air dan feeder otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang dapat memantau suhu, pH dan TDS air kolam secara real-time, mengendalikan pH secara otomatis melalui pompa peristaltik, serta memberikan pakan secara terjadwal. Metode penelitian yang digunakan meliputi studi literatur, perancangan sistem, realisasi perangkat keras serta perangkat lunak, pengujian sistem fungsional setiap komponen, pengambilan data, serta analisis hasil dan penyusunan laporan.

2.1 Tahap Penelitian



Gambar 1. Flowchart Tahap Penelitian

Perancangan sistem ini terdiri dari enam tahap. Tahap pertama adalah studi literatur, yang bertujuan mengkaji referensi terkait sistem monitoring kualitas air berbasis IoT, kalibrasi sensor pH dan TDS, pengendalian pH otomatis menggunakan pompa peristaltik, penjadwalan pemberian pakan dengan modul RTC dan motor servo, serta kebutuhan kualitas air optimal untuk budidaya ikan patin. Tahap kedua adalah perancangan sistem, meliputi pembuatan diagram blok, skema rangkaian elektronik, logika pengendalian pH bertahap, serta desain alur komunikasi antara sensor, aktuator, mikrokontroler ESP32, dan platform Blynk, termasuk integrasi modul RTC DS3231 untuk penjadwalan pemberian pakan. Tahap ketiga adalah realisasi alat, yaitu perakitan komponen elektronik — sensor suhu DS18B20, sensor pH, sensor TDS, modul RTC DS3231, relay 2 channel, pompa peristaltik, motor servo, dan LCD I2C 20×4 — serta pemrograman ESP32 menggunakan bahasa C melalui Arduino IDE.

Tahap keempat adalah pengujian alat, mencakup verifikasi akurasi sensor terhadap alat ukur standar, pengujian pompa pH, feeder otomatis, dan konektivitas Blynk. Apabila ditemukan ketidaksesuaian, dilakukan evaluasi dan perbaikan hingga sistem berfungsi dengan baik sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya. Tahap kelima adalah pengambilan data, yaitu pengumpulan data nilai suhu, pH, dan TDS dibandingkan dengan alat ukur standar, data aktivasi pompa pH, serta data ketepatan waktu dan berat pakan pada feeder otomatis. Tahap keenam adalah analisis hasil dan penyusunan laporan, di mana data yang terkumpul dianalisis untuk mengevaluasi akurasi sensor, efektivitas pengendalian pH, dan ketepatan feeder otomatis, kemudian dituangkan dalam laporan penelitian

2.2 Persiapan Alat dan Bahan

Pada perancangan sistem monitoring kualitas air dan feeder otomatis berbasis IoT ini bertujuan untuk menguji kemampuan sebuah sistem dalam memantau kondisi suhu, pH dan TDS air kolam secara real-time atau bisa juga disebut secara terus menerus, mengendalikan pH secara otomatis, serta memberikan pakan sesuai dengan jadwal. Oleh karena itu, diperlukan sejumlah komponen seperti mikrokontroler, sensor, aktuator serta modul pendukung lainnya yang saling berhubungan. Adapun alat dan bahan yang digunakan ditampilkan pada Tabel 1.

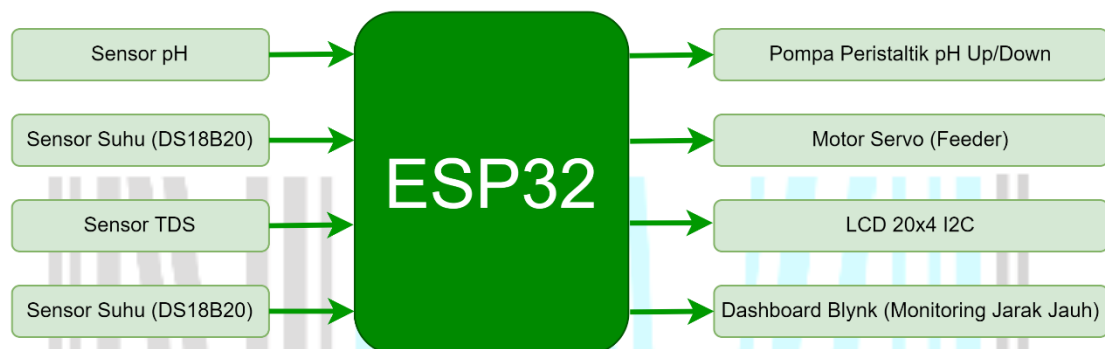
Tabel 1. Alat dan Bahan

ALAT		
No	Nama	Jumlah
1	Laptop/PC	1
2	Multimeter Digital	1
3	Solder & Timah	1
4	Gunting & Cutter	1
5	Tang & Obeng	1
6	Kolam Terpal	1
BAHAN		
No	Nama	Jumlah
1	ESP32	1
2	Sensor pH	1
3	Sensor TDS	1
4	Sensor Suhu DS18B20	1
5	RTC DS3231	1

6	Servo	1
7	Pompa Peristaltik	2
8	Step Down	1

Selain ada alat dan bahan pada Tabel 1, penelitian ini juga menggunakan beberapa perangkat lunak pendukung, yaitu Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler ESP32, aplikasi Blynk sebagai sebuah platform monitoring dan kontrol jarak jauh.

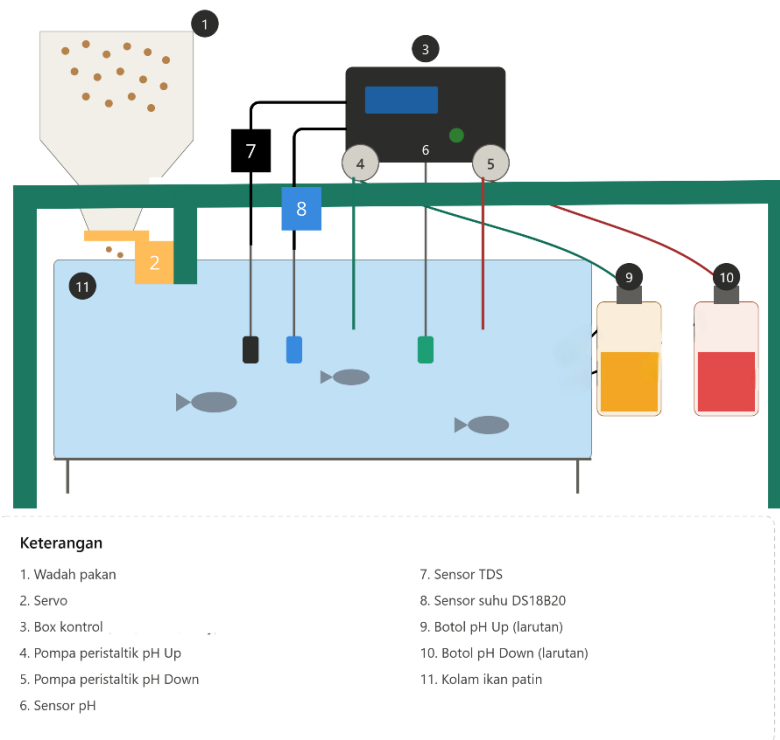
2.3 Blok Diagram Sistem



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

Gambar 1 menunjukkan sistem monitoring kualitas air dan feeder otomatis berbasis IoT yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Sistem ini terdiri dari tiga buah bagian utama yaitu bagian input, proses dan output. Pada bagian input terdiri dari sensor suhu DS18B20, sensor pH, sensor TDS serta modul RTC DS3231 dan tombol manual. Pada bagian proses yaitu mikrokontroler ESP32 yang menjalankan pembacaan sensor, logika pengendalian pH serta komunikasi data. Pada bagian output terdiri dari LCD I2C 20x4, pompa peristaltik pH Up dan pH Down melalui relay 2 channel, motor servo untuk feeder, serta platform Blynk untuk monitoring jarak jauh.

2.4 Sketsa Alat



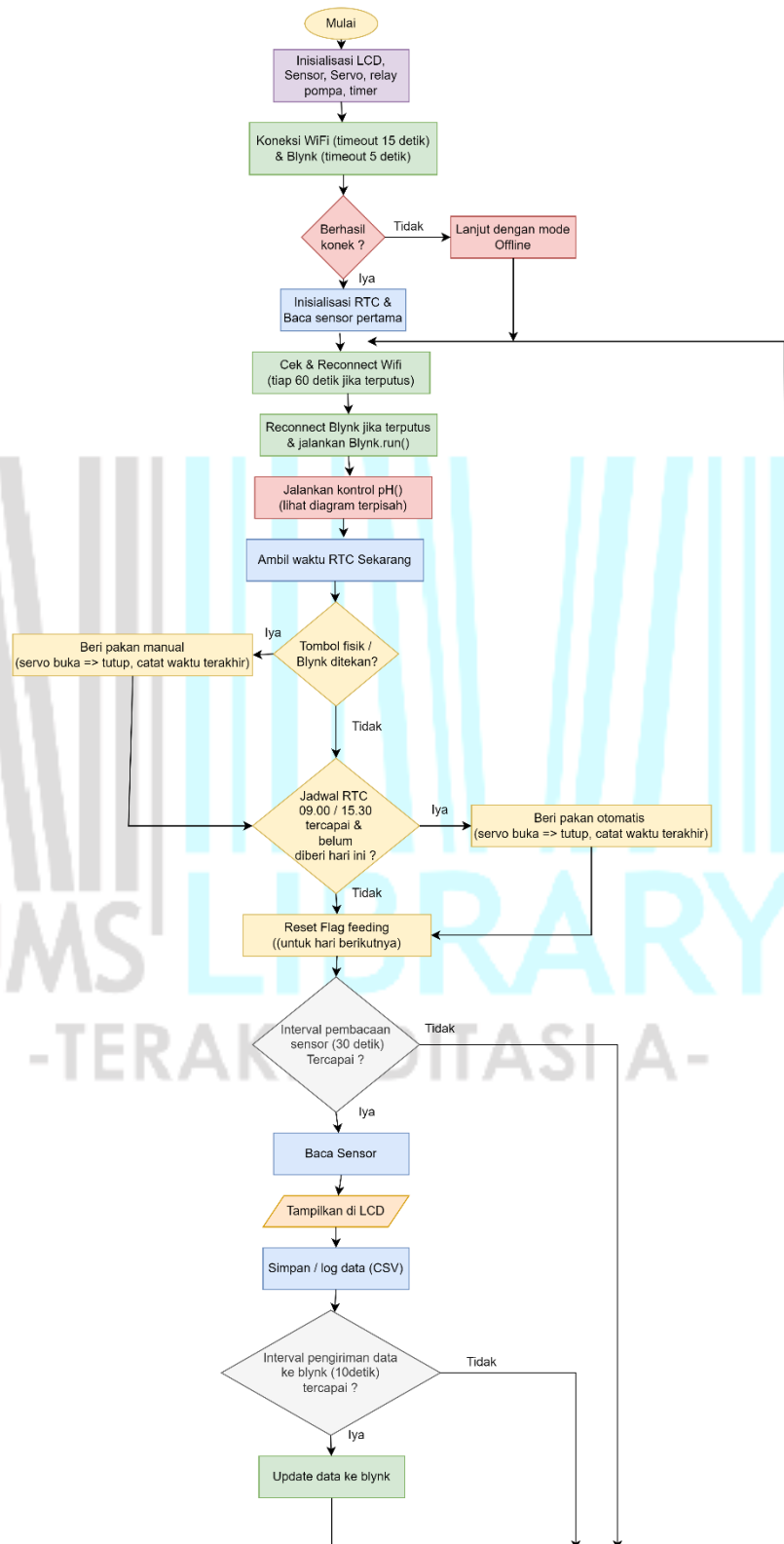
Gambar 3. Sketsa Alat

Gambar 2 menunjukkan cara kerja alat pintar untuk merawat kolam ikan patin secara otomatis. Di bagian atas terdapat wadah pakan (1) yang menyimpan pelet ikan. Wadah ini dilengkapi servo (2), yaitu motor kecil yang bertugas membuka dan menutup wadah pakan secara otomatis sesuai jadwal yang sudah diatur, sehingga ikan tetap diberi makan tepat waktu meskipun pemiliknya tidak ada di tempat. Semua proses tersebut dikendalikan oleh box kontrol (3), yaitu perangkat elektronik berisi rangkaian komputer kecil (ESP32) yang menjadi "otak" dari seluruh sistem. Box ini menerima data dari sensor-sensor di dalam kolam dan memutuskan tindakan apa yang perlu dilakukan.

Untuk memantau kondisi air kolam, alat ini menggunakan tiga sensor yang dicelupkan langsung ke dalam air, yaitu sensor pH (6) untuk mengukur tingkat keasaman air, sensor TDS (7) untuk mengukur seberapa bersih atau keruhnya air, dan sensor suhu DS18B20 (8) untuk mengukur suhu air. Ketiga sensor ini bekerja terus-menerus agar kondisi air selalu terpantau. Apabila air terdeteksi terlalu asam atau terlalu basa, sistem akan secara otomatis mengaktifkan pompa peristaltik pH Up (4) atau pompa peristaltik pH Down (5). Pompa-pompa kecil ini bertugas menyedot cairan dari botol pH Up (9), cairan untuk menaikkan pH atau botol pH Down (10), cairan

untuk menurunkan pH lalu mengalirkannya ke dalam kolam ikan patin (11) hingga kondisi air kembali normal.

2.5 Flowchart Sistem



Gambar 4. Flowchart Sistem

2.6 Mekanisme Pengendalian pH



merupakan diagram Mekanisme Pengendalian pH yang menggambarkan cara kerja sistem kontrol pH secara otomatis. Sistem ini memiliki lima kondisi (state) yang saling berhubungan, yaitu PH_IDLE, PH_PUMPING, PH_WAITING, PH_EMERGENCY, dan PH_EMERGENCY_WAITING. Pada kondisi normal, sistem berada di state PH_IDLE di mana semua pompa mati dan sistem hanya memantau nilai pH. Apabila pH terbaca di luar rentang normal

sebanyak tiga kali berturut-turut dan melewati batas deadband (pH di bawah 6,0 atau di atas 8,0), sistem berpindah ke state PH_PUMPING dengan mengaktifkan pompa pH Up atau pH Down selama 30 detik untuk mengoreksi kadar pH air. Setelah pompa selesai bekerja, sistem masuk ke state PH_WAITING selama 30 menit agar larutan kimia yang sudah disuntikkan dapat menyebar merata ke seluruh air sebelum sistem mengevaluasi pH kembali. Jika setelah 30 menit pH sudah kembali normal, sistem kembali ke PH_IDLE dan siap melakukan dosing berikutnya jika diperlukan.

Apabila dalam kondisi apapun nilai pH turun ekstrem di bawah 5,0 atau naik di atas 9,5, sistem langsung masuk ke kondisi darurat tanpa menunggu tiga kali pembacaan. Sistem menghentikan semua pompa sesaat, mengirim notifikasi darurat ke aplikasi Blynk, lalu mengaktifkan pompa koreksi selama 30 detik. Setelah satu siklus pompa selesai, sistem masuk ke state PH_EMERGENCY_WAITING dan menunggu selama 20 menit sebelum mengulang siklus pompa kembali — ini bertujuan mencegah overdosis larutan kimia. Siklus darurat ini terus berulang selama pH masih dalam zona berbahaya. Begitu pH kembali ke rentang 5,0 – 9,5, sistem menentukan langkah selanjutnya: jika pH masih di zona siaga ($\leq 6,0$ atau $\geq 8,0$), sistem langsung kembali ke PH_IDLE agar pompa koreksi normal bisa segera bekerja; sedangkan jika pH sudah benar-benar aman (6,0–8,0), sistem masuk ke PH_WAITING terlebih dahulu untuk menghindari double dosing.

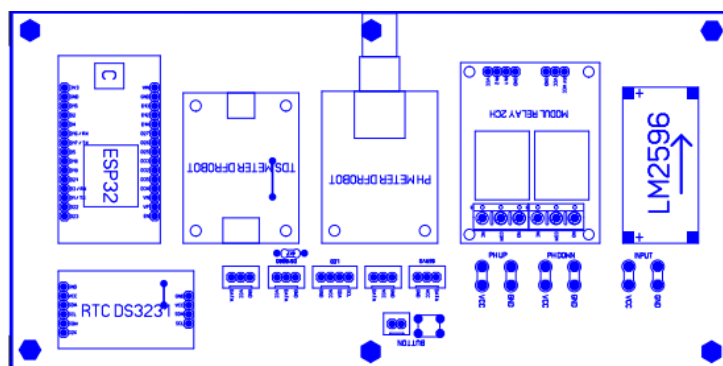
Pemilihan State Machine sebagai metode pengendalian pH, dibandingkan PID Controller atau Fuzzy Logic, didasarkan pada karakteristik aktuator dan proses yang dikendalikan. Pompa peristaltik pH Up dan pH Down pada sistem ini bekerja secara ON/OFF dengan durasi aktivasi tetap (30 detik), bukan aktuator kontinu yang debitnya dapat diatur secara proporsional melalui sinyal analog atau PWM bertingkat. PID Controller dirancang untuk mengendalikan aktuator kontinu berdasarkan besar kecilnya sinyal error, sehingga tanpa modifikasi hardware (driver PWM dan pompa berdebit variabel) penerapannya tidak akan memberikan manfaat proporsional yang sebenarnya. Selain itu, proses pencampuran larutan kimia ke dalam air kolam memiliki tundaan waktu (dead time) yang cukup besar, yaitu sekitar 30 menit hingga larutan tercampur merata, yang menyulitkan proses tuning PID karena kombinasi delay besar dan aktuator ON/OFF cenderung menimbulkan overshoot maupun osilasi apabila parameter K_p , K_i , dan K_d tidak disesuaikan secara sangat presisi.

Fuzzy Logic juga tidak dipilih karena permasalahan pengendalian pH pada penelitian ini bersifat straightforward, yaitu berupa deteksi ambang batas (threshold) dan keputusan dosing pada rentang waktu diskrit, tanpa hubungan non-linear kompleks antar banyak variabel input yang memerlukan basis aturan (rule base) dan fungsi keanggotaan hasil pertimbangan pakar. Penerapan

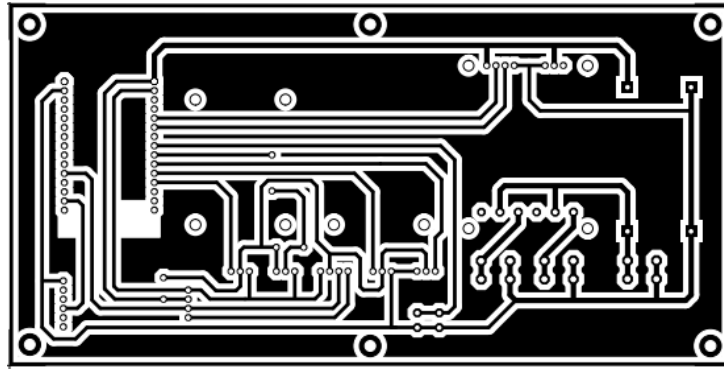
Meskipun demikian, pendekatan State Machine pada sistem dosing kimia ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, tidak terdapat kendali proporsional, karena durasi aktivasi pompa bersifat tetap (30 detik) terlepas dari seberapa jauh nilai pH menyimpang dari rentang normal, sehingga berpotensi terjadi under-dosing pada penyimpangan besar atau over-dosing pada penyimpangan kecil dibandingkan sistem kendali proporsional seperti PID. Kedua, sistem rentan terhadap dosing berulang apabila durasi PH_WAITING (30 menit) belum cukup bagi larutan kimia untuk benar-benar tercampur merata, yang berpotensi menyebabkan akumulasi dosis berlebih. Ketiga, parameter kendali seperti durasi pemompaan dan waktu tunggu bersifat statis dan ditentukan di awal, sehingga tidak menyesuaikan secara otomatis terhadap perubahan kondisi kolam, seperti perubahan volume air atau karakteristik larutan kimia, berbeda dengan pendekatan adaptif seperti PID atau Fuzzy Logic yang dapat disesuaikan secara lebih dinamis.

2.7 Realisasi alat & Penempatan Sensor

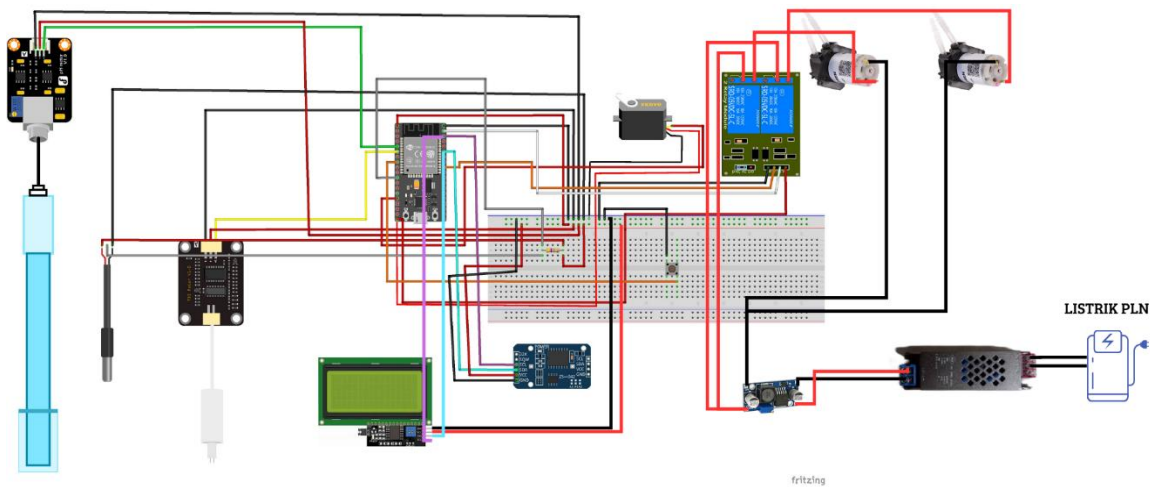
Realisasi alat & penempatan sensor ini dilakukan dengan merancang Printed Circuit Board (PCB) sebagaiudukan komponen utama, meliputi mikrokontroler ESP32, modul RTC DS3231, sensor TDS, sensor pH, modul relay 2 chanel, serta modul stepdown LM2596. Desain tata letak komponen pada PCB ditunjukkan pada Gambar 5, sedangkan jalur penghubung antara komponen ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6. Layout Tata Letak Komponen PCB (Top Layer)



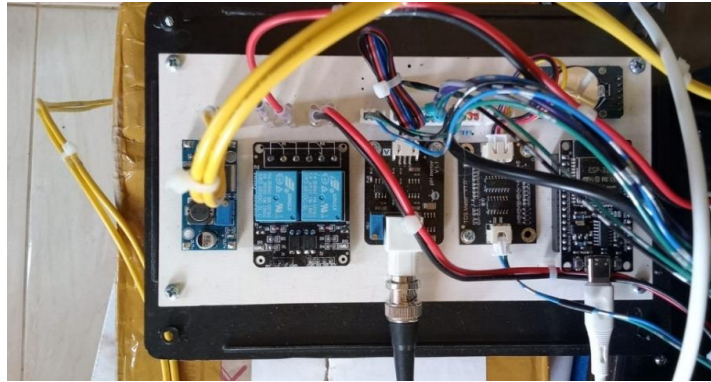
Gambar 7. Layout Jalur PCB (Buttom Layer)



Gambar 8. Wiring Diagram Rangkaian

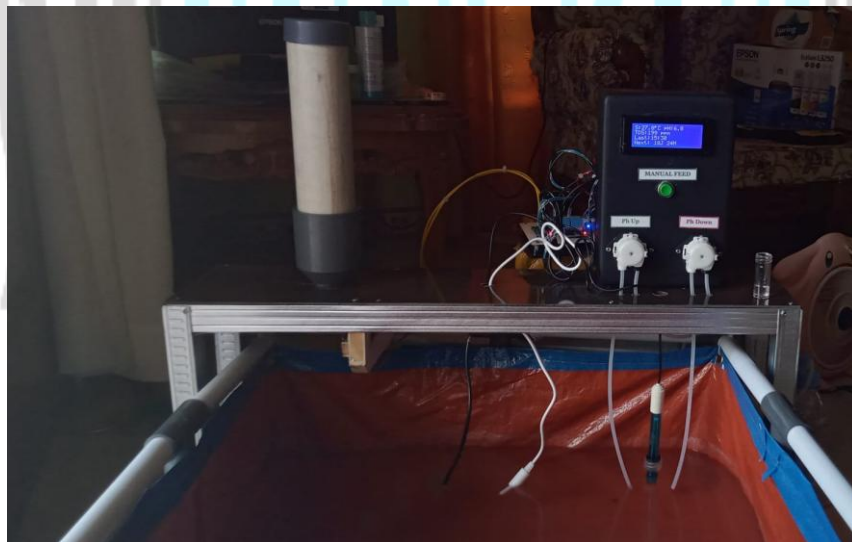
Gambar 7 menunjukkan wiring diagram keseluruhan rangkaian sistem monitoring kualitas air dan feeder otomatis. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang menghubungkan seluruh komponen. Sensor pH terhubung ke pin GPIO 35, sensor TDS ke pin GPIO 34, dan sensor suhu DS18B20 ke pin GPIO 33 menggunakan protokol OneWire. Modul RTC DS3231 dan LCD I2C 20×4 terhubung melalui jalur komunikasi I2C pada pin SDA (GPIO 21) dan SCL (GPIO 22). Relay 2 channel yang mengendalikan pompa peristaltik pH Up dan pH Down masing-masing terhubung ke GPIO 14 dan GPIO 27, sedangkan motor servo feeder terhubung ke GPIO 32. Seluruh komponen mendapatkan sumber tegangan dari modul stepdown LM2596 yang menurunkan tegangan dari adaptor menjadi 3,3V dan 5V sesuai kebutuhan masing-masing komponen.

Setelah desain PCB selesai, dilakukan proses pencetakan dan pemasangan komponen elektronik sesuai dengan layout yang telah dirancang. Hasil realisasi PCB serta seluruh komponen yang terpasang ditunjukkan pada Gambar 8. Box kontrol ini menampung modul relay 2 chanel, sensor pH meter, sensor TDS meter, modul RTC DS3231, serta mikrokontroler ESP32 yang saling terhubung melalui jalur kabel sesuai dengan skema rangkaian yang telah dirancang sebelumnya.



Gambar 9. Realisasi Box Kontrol Elektronik

Box kontrol kemudia dipasang pada rangkaian di atas kolam terpal sebagai lokasi penempatan sistem secara keseluruhan. Sensor pH, sensor TDS dan sensor suhu DS18B20 dcelupkan langsung ke dalam air kolam, sedangkan pompa peristaltik p Up dan pH Down diposisikan di sisi box kontrol dengan selang yang diarahkan ke permukaan air kolam untuk proses dosing larutan. Layar LCD 20x4 ditempatkan pada bagian depan box kontrol agar memudahkan pembacaan data suhu, pH, TDS, serta status feeding secara langsung. Realisasi alat secara keseluruhan beserta penempatan sensor ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 10. Realisai Alat Keseluruhan dan Penempatan Sensor pada Kolam



Gambar 11. Penepatan Servo

Gambar 10 menunjukkan pemasangan motor servo pada mekanisme feeder otomatis. Motor servo berfungsi sebagai aktuator yang menggerakkan papan penutup saluran pakan. Ketika jadwal pemberian pakan tercapai, servo akan berputar sesuai sudut yang telah diprogram sehingga papan penutup bergeser dan pakan keluar menuju kolam. Setelah proses pemberian pakan selesai, servo kembali ke posisi awal untuk menutup saluran pakan.

2.8 Kalibrasi Sensor

Kalibrasi dilakukan pada sensor pH dan sensor TDS untuk memastikan hasil pengukuran yang akurat sebelum sistem digunakan. Sensor pH dikalibrasi menggunakan larutan buffer pH 4,01; 6,86; dan 9,18 dengan metode regresi linier tiga titik. Elektroda sensor dicelupkan secara berurutan ke masing-masing larutan buffer, kemudian ESP32 membaca nilai ADC sebanyak 30 sampel dengan jeda 20 ms antarsampel untuk mengurangi noise. Nilai rata-rata ADC tersebut dikonversi menjadi tegangan keluaran sensor (V_{sensor}) menggunakan Persamaan (1).

$$V_{\text{sensor}} = \text{ADC}_{\text{rata}} \times \left(\frac{V_{\text{ref}}}{\text{ADC}_{\text{resolutions}}} \right) \quad (1)$$

Keterangan :

V_{sensor}	: tegangan keluaran pH(V)
ADC_{rata}	: nilai rata – rata pembacaan ADC
V_{ref}	: tegangan referensi ESP32 (3,3 V)
$\text{ADC}_{\text{resolution}}$	: resolusi ADC 12-bit (4095)

Dari ketiga larutan buffer tersebut diperoleh tiga pasang data tegangan sensor dan nilai pH standar (V_{sensor} , pH), yang selanjutnya diregresikan secara linier menggunakan model pada Persamaan (2).

$$\text{pH} = a \times V_{\text{sensor}} + b \quad (2)$$

Koefisien kemiringan (a) dan titik potong (b) dihitung dengan metode kuadrat terkecil (least-squares) yang meminimalkan jumlah kuadrat selisih antara pH terukur dan pH aktual buffer, sesuai Persamaan (3) dan Persamaan (4).

$$a = \frac{(n \times \sum(V_i \cdot \text{pH}_i) - \sum V_i \cdot \sum \text{pH}_i)}{n \cdot \sum V_i^2 - (\sum V_i)^2} \quad (3)$$

$$b = \frac{(\sum \text{pH}_i - a \times \sum V_i)}{n} \quad (4)$$

Keterangan :

n	: jumlah titik kalibrasi
V_i	: tegangan sensor pada titik ke-i
pH_i	: nilai pH buffer standar pada titik ke-i

Kesesuaian hasil regresi terhadap data kalibrasi dievaluasi menggunakan koefisien determinasi (R^2) pada Persamaan (5).

$$R^2 = 1 - \left(\frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \right) \quad (5)$$

Keterangan :

SS_{tot} : $\sum (pH_i - pH \text{ rata-rata})^2$, jumlah kuadrat total

SS_{res} : $\sum (pH_i - pH_i \text{ topi})^2$, jumlah kuadrat residual

$pH_i \text{ topi}$: $a \times V_i + b$, nilai pH prediksi hasil regresi

Koefisien a dan b yang diperoleh kemudian ditanamkan sebagai konstanta tetap pada firmware sehingga setiap pembacaan tegangan sensor pH selanjutnya dapat langsung dikonversi menjadi nilai pH tanpa mengulang proses regresi. Hasil kalibrasi yang diperoleh ditunjukkan pada Persamaan (6), dengan slope $a = 32,9979$, offset $b = -48,1724$, dan koefisien determinasi $R^2 = 0,9999$ yang menunjukkan tingkat kesesuaian (goodness of fit) yang sangat baik antara model regresi dengan data kalibrasi tiga titik.

$$pH = (32,9979 \times V_{sensor}) - 48,1724 \quad (6)$$

Keterangan :

pH : nilai derajat keasaman air

V_{sensor} : tegangan keluaran sensor pH (V)

Sensor TDS dikalibrasi menggunakan faktor koreksi (kFactor) sebesar 0,252 serta kompensasi suhu otomatis berdasarkan data sensor DS18B20. Kompensasi suhu digunakan untuk mengurangi pengaruh perubahan temperatur terhadap hasil pengukuran TDS. Persamaan kompensasi suhu ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$V_{comp} = \frac{V_{sensor}}{(1 + 0,02 \times (T - 25))} \quad (7)$$

Nilai tegangan yang telah dikompensasi kemudian dikonversi menjadi nilai TDS menggunakan Persamaan (3).

$$TDS = (133,42 \times V_{comp}^3 - 255,86 \times V_{comp}^2 + 857,39 \times V_{comp}) \times 0,5 \times kFactor \quad (8)$$

Keterangan :

V_{comp} = tegangan sensor yang telah dikompensasi suhu (V)

V_{sensor} = tegangan keluaran sensor TDS (V)

T = suhu air yang dibaca sensor DS18B20 (°C)

kFactor = faktor koreksi sensor TDS sebenarnya 0,252

Untuk meningkatkan kestabilan pembacaan, sensor TDS menggunakan metode trimmed mean dengan mengambil 30 sampel ADC, kemudian menghilangkan 25% data tertinggi dan 25% data terendah sebelum menghitung nilai rata-rata. Sementara itu, sensor pH menggunakan metode

averaging bertingkat, yaitu rata-rata 10 sampel ADC yang diulang sebanyak tiga kali, kemudian hasilnya difilter menggunakan Exponential Moving Average (EMA) untuk mengurangi noise dan fluktuasi pembacaan.

Verifikasi sensor suhu DS18B20 dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor terhadap termometer digital standar. Sensor DS18B20 tidak memerlukan kalibrasi tambahan karena telah memiliki kalibrasi internal dari pabrikan dengan akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, sehingga pengujian yang dilakukan bertujuan untuk memastikan kesesuaian hasil pengukuran sensor dengan kondisi sebenarnya.

2.9 Rentang Parameter Kualitas Air dan Jadwal Pemberian pakan

Sistem dirancang untuk memantau dan menjaga kondisi air kolam ikan patin secara otomatis. Terdapat tiga parameter air yang dipantau secara berkelanjutan. Pertama, suhu air dijaga pada rentang $25\text{--}30^{\circ}\text{C}$ sesuai kebutuhan hidup ikan patin. Kedua, tingkat keasaman air (pH) dijaga pada rentang $6,5\text{--}7,5$. Apabila pH turun di bawah 6,0, sistem akan mengaktifkan pompa larutan basa untuk menaikkan pH, sedangkan apabila pH naik di atas 8,0, sistem akan mengaktifkan pompa larutan asam untuk menurunkannya. Ketiga, kejernihan air dipantau melalui nilai TDS, yaitu jumlah partikel terlarut dalam air. Air dikategorikan jernih apabila nilai TDS di bawah 400 ppm, agak keruh apabila berada di antara 400–600 ppm, dan keruh apabila melebihi 600 ppm. Seluruh informasi ini ditampilkan secara langsung pada layar LCD dan aplikasi Blynk di smartphone pengguna.

Pemberian pakan dilakukan secara otomatis dua kali sehari, yaitu pada pukul 09.00 dan 15.30 WIB, menggunakan modul jam real-time DS3231 sebagai pengatur waktu. Saat waktu pemberian pakan tiba, motor servo akan membuka wadah pakan dari posisi tertutup (0°) ke posisi terbuka (30°), kemudian menutup kembali setelah pakan keluar. Selain jadwal otomatis, pengguna juga dapat memberi pakan secara manual kapan saja melalui tombol fisik pada perangkat maupun melalui aplikasi Blynk. Agar jadwal pemberian pakan tidak terulang akibat perangkat yang restart, sistem menyimpan catatan waktu pemberian pakan terakhir pada memori internal ESP32 yang tidak akan terhapus meskipun perangkat dimatikan.

2.10 Pengujian sistem dan Perhitungan Error

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor suhu DS18B20, sensor pH, dan sensor TDS dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi berupa termometer digital, pH meter digital, dan TDS meter standar. Selisih antara nilai sensor dan nilai referensi dihitung sebagai nilai error untuk menunjukkan tingkat penyimpangan pengukuran sistem terhadap alat ukur standar. Persentase error dan akurasi dihitung menggunakan Persamaan (4) dan Persamaan (5).

$$\text{Error (\%)} = |X_{\text{sensor}} - X_{\text{standar}}| / X_{\text{standar}} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{Akurasi (\%)} = 100\% - \text{Error (\%)} \quad (5)$$

Keterangan:

X_{sensor} = nilai hasil pembacaan sensor

X_{standar} = nilai hasil pengukuran alat referensi

Pengujian mekanisme pengendalian pH dilakukan dengan mengamati respons sistem terhadap perubahan nilai pH, meliputi kondisi aktivasi pompa pH Up dan pH Down, durasi pompa aktif, serta perubahan nilai pH setelah proses mixing. Pengujian feeder otomatis dilakukan dengan memverifikasi kesesuaian waktu pemberian pakan berdasarkan RTC DS3231 dan mengukur berat pakan yang dikeluarkan pada setiap sesi menggunakan timbangan digital.

Pengujian konektivitas IoT dilakukan dengan memverifikasi bahwa data sensor, status pompa, dan status feeder dapat ditampilkan pada dashboard Blynk secara real-time. Selain itu, dilakukan pengujian terhadap mekanisme reconnect otomatis dengan cara memutus dan menghubungkan kembali jaringan WiFi untuk memastikan sistem mampu memulihkan koneksi secara mandiri selama proses monitoring berlangsung.

2.11 Konfigurasi Virtual Pin Blynk

Sistem menggunakan sebelas Virtual Pin pada platform Blynk untuk mengirimkan data sensor, status aktuator, dan informasi sistem secara real-time ke dashboard monitoring. Konfigurasi seluruh Virtual Pin ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Konfigurasi Virtual Pin Blynk

Virtual Pin	Fungsi	Keterangan
V0	Nilai pH Sensor	Nilai pH real-time (float)
V1	Suhu Air	Nilai suhu dari DS18B20 (°C)
V2	Nilai TDS	Nilai TDS air kolam (ppm)
V3	Status Pompa pH UP	0 = OFF, 1 = ON
V4	Status Pompa pH DOWN	0 = OFF, 1 = ON
V5	Tombol Manual Feed	Tombol virtual Blynk untuk memicu pemberian pakan manual
V6	Waktu Feeding Terakhir	String jam:menit pemberian pakan terakhir
V7	Waktu Feeding Berikutnya	Sisa waktu menuju jadwal pakan berikutnya (format XXJ YYM)
V8	Kondisi Air	Label string: Jernih / Agak Keruh / Keruh

V9	Status Suhu	Label string: Normal / Terlalu Dingin! / Terlalu Panas
V10	Status State pH	Label string: IDLE / PUMPING UP / PUMPING DOWN / WAITING / EMERGENCY

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi dan kinerja setiap komponen yang digunakan. Pengujian meliputi sensor suhu DS18B20, sensor pH, sensor TDS, sistem pengendali pH otomatis dan sistem pemberian pakan otomatis.

3.1 Pengujian Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu DS18B20 dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan sensor terhadap termometer standar pada beberapa kondisi suhu yang berbeda.

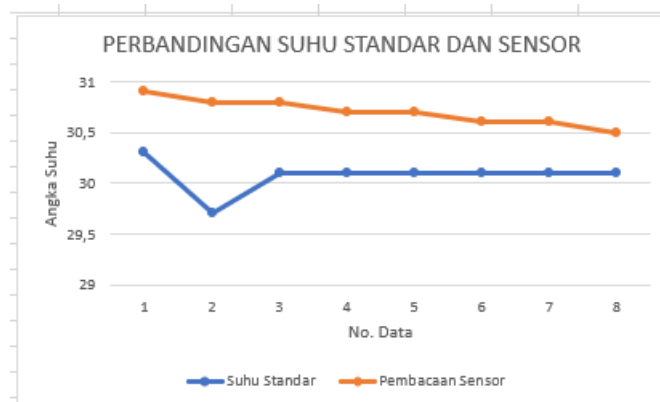
Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Suhu DS18B20

No	Suhu Standar(°C)	Pembacaan sensor(°C)	Selisih(°C)	Error(%)
1	30.3	30.9	0.6	1.98%
2	30.2	30.8	0.6	1.99%
3	30.1	30.8	0.7	2.33%
4	30.1	30.7	0.6	1.99%
5	30.1	30.7	0.6	1.99%
6	30.1	30.6	0.5	1.66%
7	30.1	30.6	0.5	1.66%
8	30.1	30.5	0.4	1.33%
Rata – rata error				1.87%

$$\text{Akurasi} = 100\% - 1.87\% = 98.13\%$$

Pengujian sensor suhu DS18B20 dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap termometer standar sebanyak 8 kali pengujian. Berdasarkan Tabel 3, suhu standar yang digunakan berkisar antara 30.3–30.3°C, sedangkan sensor membaca antara 30.5–30.9°C sehingga terdapat selisih sebesar 0.4–0.7°C di setiap pengujian. Dari selisih tersebut diperoleh nilai error per pengujian antara 1.33% hingga 2.33%, dan setelah dirata-rata menghasilkan error sebesar 1.87% sehingga tingkat akurasi sensor ini adalah $100\% - 1.87\% = 98.13\%$. Angka akurasi tersebut tergolong baik dan layak digunakan pada sistem ini, karena selisih pembacaan kurang dari 1°C tidak

akan berdampak berarti bagi ikan patin yang memiliki rentang suhu ideal cukup lebar yaitu 25–30°C.



Gambar 12. Grafik Perbandingan Suhu Standar dan Pembacaan Sensor

Berdasarkan grafik Perbandingan Suhu Standar dan Sensor, terlihat bahwa nilai suhu hasil pembacaan sensor selalu berada sedikit di atas suhu standar pada setiap pengujian. Suhu standar cenderung stabil di kisaran 29,7–30,1°C, sedangkan pembacaan sensor berada pada rentang 30,5–30,9°C. Meskipun terdapat selisih sekitar 0,4–0,8°C, pola perubahan kedua grafik relatif serupa, yaitu mengalami penurunan secara bertahap hingga pengujian terakhir. Hal ini menunjukkan bahwa sensor mampu mengikuti tren perubahan suhu dengan baik, namun memiliki pembacaan yang sedikit lebih tinggi dibandingkan alat standar.

3.2 Pengujian Sensor pH

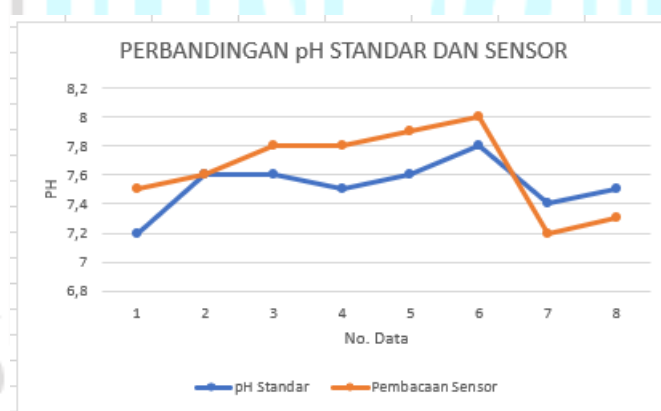
Pengujian sensor pH dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan sensor terhadap pH meter standar pada beberapa nilai pH larutan buffer yang telah diketahui.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor pH

No	pH Standar	Pembacaan Sensor	Selisih	Error(%)
1	7.2	7.5	0.3	4.17%
2	7.6	7.6	0	0.00%
3	7.6	7.8	0.3	2.63%
4	7.5	7.8	0.3	4.00%
5	7.6	7.9	0.3	3.95%
6	7.8	8.0	0.2	2.56%
7	7.4	7.2	0.2	2.70%
8	7.5	7.3	0.2	2.67%
Rata – rata error				2.84%

$$\text{Akurasi} = 100\% - 2,84\% = 97,16\%$$

Pengujian sensor pH dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap pH standar sebanyak 8 kali pengujian, seperti yang ditampilkan pada Tabel 4. pH standar yang digunakan berkisar antara 7.2–7.8, sedangkan sensor membaca antara 7.2–8.0 sehingga terdapat selisih sebesar 0.0–0.3 di setiap pengujian. Dari selisih tersebut diperoleh nilai error per pengujian antara 2.56% hingga 4.17%, dan setelah dirata-rata menghasilkan error sebesar 2.84% sehingga tingkat akurasi sensor pH ini adalah $100\% - 2.84\% = 97.16\%$. Meskipun terdapat selisih pembacaan, sensor secara konsisten membaca lebih rendah dari nilai standar dengan pola yang stabil, yang menunjukkan bahwa sensor bekerja dengan baik dan akurasi 97.16% tersebut masih tergolong layak untuk digunakan pada sistem monitoring pH kolam ini.



Grafik 13. Grafik Perbandingan pH Standar dan Pembacaan Sensor

Berdasarkan grafik Perbandingan pH Standar dan Sensor, terlihat bahwa hasil pembacaan sensor memiliki pola perubahan yang hampir sama dengan nilai pH standar pada setiap pengujian. Nilai pH standar berada pada kisaran 7,2–7,8, sedangkan hasil pembacaan sensor berada pada rentang 7,2–8,0. Perbedaan nilai yang muncul pada beberapa titik pengujian relatif kecil, sehingga menunjukkan bahwa sensor mampu mengikuti perubahan pH dengan baik meskipun terdapat sedikit selisih pembacaan. Pada data ke-7 dan ke-8, baik nilai pH standar maupun hasil pembacaan sensor mengalami penurunan dengan pola yang serupa, yang menunjukkan bahwa sensor tetap responsif terhadap perubahan kondisi air.

3.3 Pengujian Sensor TDS

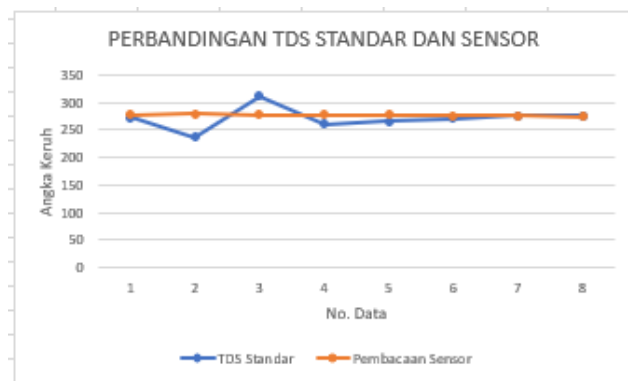
Pengujian sensor TDS dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan sensor terhadap TDS meter standar pada beberapa larutan dengan konsentrasi berbeda.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sensor TDS

No.	TDS Standar (ppm)	Pembacaan Sensor (ppm)	Selisih (ppm)	Error (%)
1	273	277	3	1,47%
2	237	279	42	17,72%
3	312	277	35	11,22%
4	261	278	17	6,51%
5	265	277	12	4,53%
6	271	276	5	1,85%
7	275	276	1	0,36%
8	275	275	0	0,00%
Rata – rata eror				5,46%

$$\text{Akurasi} = 100\% - 5,46\% = 94,54\%$$

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5, sensor TDS mampu membaca nilai padatan terlarut (TDS) dengan cukup baik pada setiap sampel yang diuji. Hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan alat ukur standar untuk mengetahui selisih dan tingkat kesalahan pengukuran. Dari delapan kali pengujian, terdapat beberapa data yang memiliki selisih pembacaan cukup besar, terutama pada pengujian kedua dan ketiga, sedangkan pada pengujian lainnya selisih yang diperoleh relatif kecil. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kondisi sensor, proses kalibrasi, pencampuran larutan yang belum merata, maupun karakteristik sensor TDS yang sensitif terhadap perubahan suhu dan konsentrasi larutan. Berdasarkan perhitungan, diperoleh rata-rata error sebesar 5,46%, sehingga tingkat akurasi sensor mencapai 94,54%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor TDS masih mampu memberikan pembacaan yang cukup baik dan dapat digunakan untuk memantau kualitas air pada sistem monitoring kolam ikan patin. Meskipun masih terdapat selisih antara hasil pembacaan sensor dan alat ukur standar, perbedaan tersebut masih dapat diterima untuk keperluan monitoring kualitas air, karena tujuan utama sistem adalah mendeteksi perubahan kondisi air dan memberikan informasi kepada pengguna secara otomatis.



Gambar 14. Grafik Perbandingan TDS Standar dan Pembacaan sensor

Berdasarkan grafik Perbandingan TDS Standar dan Sensor, terlihat bahwa hasil pembacaan sensor memiliki pola yang hampir sama dengan nilai TDS standar pada setiap pengujian. Perbedaan pembacaan paling terlihat pada pengujian pertama hingga ketiga, sedangkan pada pengujian keempat hingga kedelapan hasil pembacaan sensor cenderung stabil dan mendekati nilai TDS standar. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh kondisi larutan, waktu respons sensor, maupun karakteristik sensor TDS. Secara keseluruhan, sensor mampu mengikuti perubahan nilai TDS dengan cukup baik. Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 5, diperoleh rata-rata error sebesar 5,46% dengan tingkat akurasi 94,54%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor TDS memiliki kinerja yang cukup baik dan mampu memberikan pembacaan yang mendekati alat ukur standar, sehingga layak digunakan untuk memantau kualitas air pada sistem monitoring kolam ikan patin.

Perlu dicatat bahwa rata-rata error 5,46% pada Tabel 5 sebagian besar dipengaruhi oleh dua pengujian dengan penyimpangan lebih besar, yaitu pengujian ke-2 (error 17,72%) dan pengujian ke-3 (error 11,22%), sedangkan enam pengujian lainnya menunjukkan error di bawah 7%, bahkan tiga di antaranya di bawah 2%. Jika dibandingkan dengan standar TDS meter laboratorium yang umumnya mensyaratkan error di bawah 5%, sensor TDS analog berbiaya rendah yang digunakan pada penelitian ini (seperti modul TDS berbasis konduktivitas) secara umum memang memiliki toleransi error yang lebih besar, yaitu pada kisaran 5–15%, sebagaimana ditunjukkan pada spesifikasi teknis sensor-sensor sejenis. Klaim akurasi 94,54% pada penelitian ini perlu dipahami dalam konteks penggunaannya, yaitu sebagai sistem monitoring kualitas air kolam budidaya ikan patin yang bertujuan mendeteksi tren dan perubahan relatif kondisi air secara real-time, bukan sebagai alat ukur presisi laboratorium untuk pengujian kepatuhan baku mutu air. Untuk kebutuhan tersebut, tingkat error pada pengujian ke-2 dan ke-3 tergolong sebagai keterbatasan yang perlu diperbaiki pada penelitian selanjutnya, misalnya melalui kalibrasi ulang secara berkala, pembersihan probe sensor sebelum pengujian, serta penerapan metode averaging atau filtering tambahan untuk menekan pengaruh noise pada pembacaan sensor.

3.4 Pengujian Pengendalian pH Otomatis

Pengujian pengendalian pH otomatis dilakukan untuk mengetahui apakah sistem dapat menjaga nilai pH air tetap berada pada rentang yang sesuai untuk budidaya ikan patin. Pada pengujian ini, nilai pH air sengaja diubah dengan menambahkan larutan pH Up maupun pH Down sehingga pH berada di luar rentang normal. Selanjutnya, sensor pH membaca kondisi air setiap 30 detik untuk mengetahui apakah nilai pH masih berada pada kondisi aman atau sudah memerlukan tindakan koreksi.

Apabila hasil pembacaan menunjukkan bahwa nilai pH berada di luar batas siaga ($\text{pH} < 6,0$ atau $\text{pH} > 8,0$) sebanyak tiga kali pembacaan berturut-turut, sistem akan mengaktifkan pompa pH Up atau pompa pH Down selama 30 detik sesuai dengan kondisi air. Setelah pompa berhenti, sistem memberikan waktu agar larutan tercampur merata sebelum melakukan pembacaan ulang. Selain itu, apabila nilai pH mencapai kondisi yang sangat ekstrem ($\text{pH} < 5,0$ atau $\text{pH} > 9,5$), sistem akan langsung masuk ke mode Emergency untuk melakukan koreksi secara otomatis.

Tabel 6. Hasil Pengujian Pengendalian pH Otomatis

No.	pH Awal	Kondisi	Pompa Aktif	Durasi (s)	pH Setelah Mixing	Status
1	4.73	Darurat Rendah	Up	30	4.66	Emergency Waiting
2	4.66	Darurat Rendah	-	-	4.72	Emergency Waitig
3	4.72	Darurat Rendah	-	-	4.83	Emergency Waiting
4	4.83	Darurat Rendah	-	-	4.92	Emergency Waiting
5	4.92	Rendah	-	-	5.02	Emergency Waiting
6	5.02	Rendah	-	-	5.14	Emergency Waiting
7	5.14	Rendah	Up	30s	5.30	Dosing
8	5.30	Rendah	-	-	5.46	Memantau
9	5.46	Rendah	-	-	5.46	Memantau
10	5.63	Rendah	-	-	5.80	Memantau

Berdasarkan Tabel 6, sistem mampu memantau perubahan nilai pH secara terus-menerus dan memberikan respons sesuai dengan kondisi yang terdeteksi. Ketika nilai pH masih berada di luar rentang normal tetapi belum melewati batas yang telah ditentukan, sistem hanya melakukan pemantauan tanpa mengaktifkan pompa. Namun, setelah nilai pH berada di luar batas siaga selama

beberapa kali pembacaan berturut-turut, sistem secara otomatis mengaktifkan pompa pH Up atau pH Down selama 30 detik untuk mengoreksi kondisi air.

Setelah proses koreksi selesai, sistem tidak langsung mengaktifkan pompa kembali, tetapi memberikan waktu agar larutan penyesuaian pH tercampur secara merata di dalam kolam sebelum sensor melakukan pembacaan berikutnya. Mekanisme ini membuat perubahan nilai pH terjadi secara bertahap sehingga mengurangi risiko perubahan pH yang terlalu cepat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja sesuai dengan logika yang telah dirancang, yaitu mendeteksi perubahan pH, menentukan tindakan yang diperlukan, dan mengembalikan nilai pH secara otomatis menuju rentang yang lebih aman.

3.5 Pengujian Feeder Otomatis

Pengujian feeder otomatis dilakukan untuk memverifikasi ketepatan waktu pemberian pakan sesuai jadwal yang telah ditentukan (pagi pukul 09.00 dan sore pukul 15.30) serta konsistensi berat pakan yang dikeluarkan oleh motor servo.

Tabel 7. Pengujian Feeder Otomatis

No.	Jadwal	Waktu Aktual	Selisih Waktu (s)	Berat Pakan (g)	Status
1	09.00	09.01	1	6g	Terbuka
2	12.24 (tombol manual)	13.23	1	6g	terbuka
3	15.30	15.29	1	6g	terbuka
4	17.00 (Tombol Blynk)	16.59	1	6g	terbuka

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 7, sistem feeder otomatis berhasil menjalankan pemberian pakan sesuai jadwal yang telah ditentukan, yaitu pukul 09.00 dan 15.30, serta dapat diaktifkan secara manual melalui tombol fisik maupun aplikasi Blynk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu aktual pemberian pakan memiliki selisih yang sangat kecil, yaitu sekitar 1 menit dari jadwal yang ditetapkan. Selain itu, mekanisme servo mampu membuka saluran pakan dengan baik pada setiap pengujian dan mengeluarkan pakan dengan berat yang relatif konsisten sebesar 6 gram. Hal ini menunjukkan bahwa sistem feeder otomatis yang dirancang telah bekerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan, baik pada mode otomatis maupun mode manual.

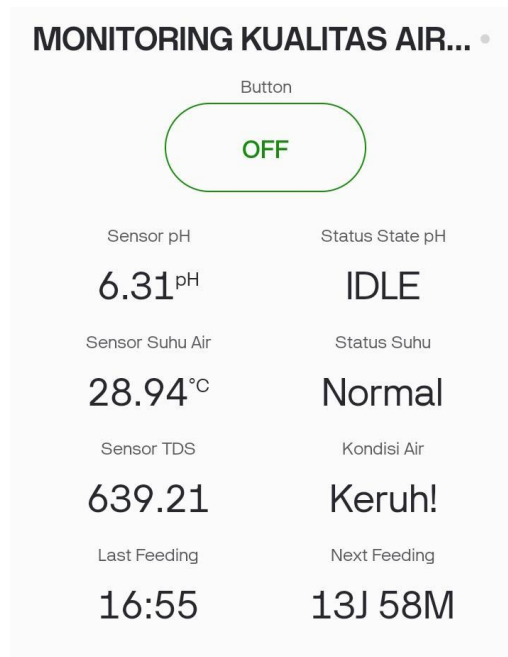
3.6 Pengujian Monitoring Jarak Jauh (Blynk)

Pengujian monitoring jarak jauh dilakukan untuk memverifikasi keberhasilan pengiriman data sensor dari ESP32 ke platform Blynk melalui koneksi WiFi. Setiap virtual pin (V0–V10) diuji untuk memastikan data yang diterima aplikasi sesuai dengan nilai aktual sensor.

Tabel 8. Hasil Pengujian Monitoing Blynk

No.	Virtual Pin	Parameter	Nilai Terkirim	Nilai Diterima	Delay (ms)	Status
1	V0	Ph	6.96	7	-	Berhasil
2	V1	Suhu	28.1	28.1	-	Berhasil
3	V2	Tds	481.0	481.0	-	Berhasil
4	V3	Pomps up	0	0	-	Berhasil
5	V4	Pomps down	0	0	-	Berhasil
6	V5	Button manual	OFF	Off	-	Berhasil
7	V6	Last feeding	14.23	14.23	-	Berhasil
8	V7	Next feeding	00J 52M	00J 52M	-	Berhasil
9	V8	Kondisi air	Agak Keruh	Agak Keruh	-	Berhasil
10	V9	Ststus suhu	Normal	Normal	-	Berhasil
11	V10	State ph	IDLE	IDLE	-	Berhasil

Pengujian monitoring jarak jauh dilakukan dengan memverifikasi seluruh 11 virtual pin (V0–V10) pada platform Blynk untuk memastikan kesesuaian data yang dikirim oleh ESP32 dengan data yang diterima pada dashboard. Berdasarkan Tabel 8, seluruh parameter — mulai dari nilai pH, suhu, TDS, status pompa Up dan Down, status tombol manual, waktu pemberian pakan terakhir dan berikutnya, kondisi air, status suhu, hingga status state pH — berhasil terkirim dan diterima dengan nilai yang sama persis tanpa ada perbedaan data. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem komunikasi antara ESP32 dan platform Blynk bekerja dengan baik dan handal, sehingga seluruh informasi sensor dan status sistem dapat dipantau secara real-time melalui aplikasi tanpa kehilangan atau kesalahan data.



Gambar 15. Tampilan Dashboard Blynk

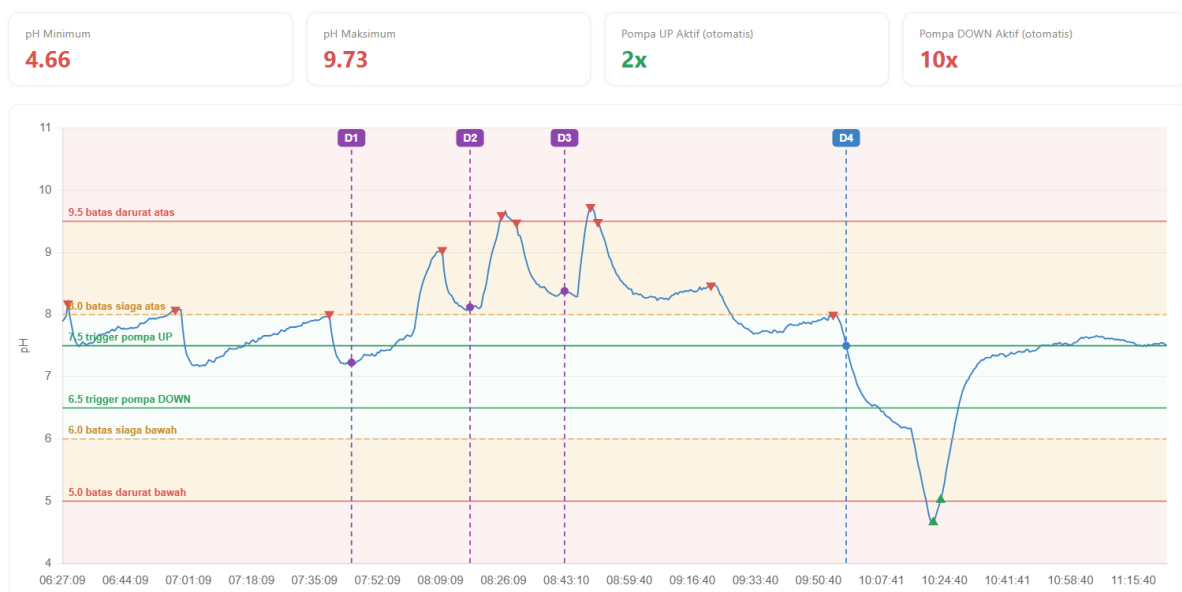
Gambar 15 menunjukkan tampilan dashboard aplikasi Blynk yang digunakan sebagai antarmuka pemantauan jarak jauh. Dashboard menampilkan seluruh parameter secara real-time, meliputi nilai pH, suhu, dan TDS air kolam, status pompa pH Up dan pH Down, kondisi air, status suhu, serta status state pH sistem. Pengguna juga dapat memicu pemberian pakan secara manual melalui tombol virtual V5 yang tersedia pada dashboard. Waktu pemberian pakan terakhir (V6) dan perkiraan waktu pemberian pakan berikutnya (V7) turut ditampilkan untuk memudahkan pemantauan jadwal feeding. Seluruh data diperbarui setiap 10 detik secara otomatis selama sistem terhubung ke jaringan WiFi.

3.7 Pengujian Monitoring Jangka Panjang (5 Jam)

Tabel 9. Ringkasan Hasil Pengujian Monitoring 5 Jam

Parameter	Nilai
Durasi pengujian	06.27 – 11.16
pH minimum	4.66
pH maksimum	9.73
Aktivasi pompa Down	10 kali
Aktivasi pompa Up	2 kali
Rentang suhu air	29.2 – 31.0°C
TDS rata-rata	≈ 353 ppm
TDS puncak (saat EMERGENCY)	≈ 434.4 ppm
Insiden EMERGENCY	3 kali

Perlu diperjelas bahwa nilai TDS puncak (saat EMERGENCY) sebesar 434,4 ppm pada Tabel 9 merupakan nilai TDS yang tercatat tepat pada saat sistem berada pada state EMERGENCY akibat pH turun ekstrem (pukul 10.23.11, pH 4,92), bukan nilai puncak TDS secara keseluruhan selama periode pengujian. Nilai TDS tertinggi secara keseluruhan, yaitu 508,4 ppm pada pukul 10.30.11 sebagaimana dibahas pada bagian pengujian sensor TDS, terjadi setelah kondisi EMERGENCY pH berakhir (sekitar pukul 10.23--10.26), ketika nilai TDS masih terus meningkat secara independen terhadap kondisi pH. Dengan demikian, kedua nilai tersebut merepresentasikan besaran yang berbeda dan konsisten dengan data hasil pengujian, yaitu TDS pada momen spesifik terjadinya EMERGENCY pH dibandingkan dengan TDS puncak tertinggi sepanjang periode pengujian 5 jam.



Gambar 16. Grafik Sensor pH dan Pompa Down. *Disturbance* diberikan pada pukul 07.45.09 (D1, pH Up), 08.17.09 (D2, pH Up), 08.42.40 (D3, pH Up), dan 09.58.10 (D4, pH Down)

.Gambar 16 menunjukkan respons sistem monitoring dan pengendalian pH terhadap gangguan (*disturbance*) yang sengaja diberikan untuk menguji kemampuan sistem dalam mendeteksi perubahan pH dan mengaktifkan pompa koreksi secara otomatis. Selama pengujian, dilakukan beberapa kali penambahan larutan pH Up dan pH Down ke dalam kolam sehingga nilai pH berubah secara signifikan. Berdasarkan hasil pengujian, nilai pH tertinggi yang tercatat adalah 9,73, sedangkan nilai pH terendah mencapai 4,66. Selain itu, pompa pH Down aktif sebanyak 10 kali, sedangkan pompa pH Up aktif sebanyak 2 kali, sesuai dengan kondisi pH yang terdeteksi selama proses pengujian.

Gangguan pertama dilakukan pada pukul 07.45.09 dengan menambahkan larutan pH Up sehingga nilai pH meningkat secara bertahap hingga pompa pH Down aktif pada pukul 08.10.09 untuk menurunkan pH kembali ke rentang aman. Selanjutnya, pada pukul 08.17.09 dan 08.42.40, larutan pH Up kembali ditambahkan hingga nilai pH melampaui batas darurat atas (pH > 9,5). Kondisi tersebut

membuat sistem masuk ke mode Emergency, mengaktifkan pompa pH Down, kemudian berpindah ke mode Emergency Waiting sebelum melakukan pembacaan ulang. Setelah masa jeda selesai, sistem kembali mengevaluasi nilai pH dan melanjutkan proses koreksi apabila pH masih berada di luar batas yang telah ditentukan. Pengujian terakhir dilakukan pada pukul 09.58.10 dengan menambahkan larutan pH Down hingga nilai pH terus menurun dan mencapai 4,66, yaitu di bawah batas darurat bawah. Kondisi ini menyebabkan sistem secara otomatis mengaktifkan pompa pH Up untuk menaikkan kembali nilai pH, kemudian masuk ke mode Emergency Waiting agar larutan tercampur merata sebelum dilakukan pembacaan ulang sensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap disturbance yang diberikan dapat dideteksi dengan baik oleh sistem. Pompa koreksi aktif sesuai kondisi pH yang terjadi sehingga algoritma Mekanisme Pengendalian pH mampu menjaga kestabilan pH secara otomatis meskipun terjadi perubahan pH yang ekstrem.

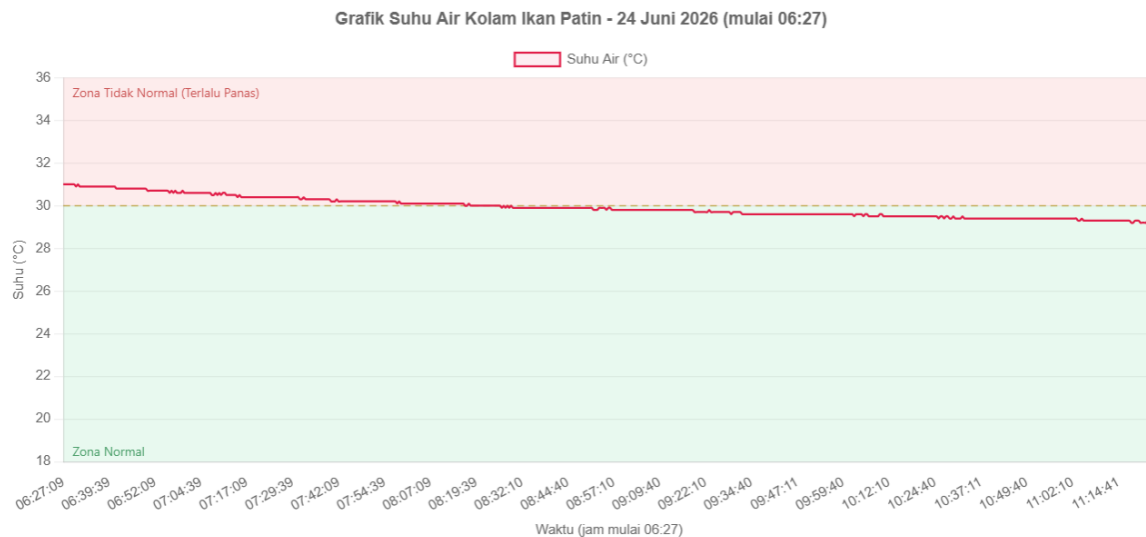


Gambar 19. Grafik Sensor TDS

Grafik pada Gambar menunjukkan hasil monitoring nilai TDS (Total Dissolved Solids) pada kolam patin selama periode pengujian, dengan ambang batas 400 ppm yang membedakan zona Jernih ($TDS < 400$ ppm) dan zona Agak Keruh ($TDS \geq 400$ ppm). Pada awal pengujian (pukul 06.27.09), nilai TDS tercatat stabil di kisaran 270–290 ppm dan berada pada zona Jernih. Mulai pukul 08.43.10, nilai TDS menunjukkan tren kenaikan menjadi sekitar 370 ppm dan relatif stabil di rentang tersebut hingga pukul 10.08.10, namun masih berada di bawah ambang batas sehingga tetap tergolong zona Jernih.

Lonjakan TDS yang lebih signifikan terjadi pada pukul 10.16.40, ketika nilai TDS melewati ambang batas 400 ppm dan terus meningkat hingga mencapai nilai tertinggi sebesar 508,4 ppm pada pukul 10.30.11. Setelah mencapai puncaknya, nilai TDS relatif stabil di kisaran 495–510 ppm hingga akhir periode pengujian (pukul 11.24.41), menunjukkan bahwa kolam berada pada kondisi zona Agak Keruh secara konsisten pada paruh akhir pengujian. Secara keseluruhan, tren kenaikan TDS yang

bertahap ini mengindikasikan peningkatan akumulasi partikel terlarut dalam air seiring berjalannya waktu pengujian.



Gambar 20. Grafik Sensor Suhu

Gambar 20 menunjukkan hasil monitoring suhu air kolam patin selama periode pengujian, dengan ambang batas $30,0^{\circ}\text{C}$ yang membedakan zona Normal ($\text{suhu} \leq 30,0^{\circ}\text{C}$) dan zona Terlalu Panas ($\text{suhu} > 30,0^{\circ}\text{C}$). Pada awal pengujian (pukul 06.27.09), suhu air tercatat pada nilai tertinggi sebesar $31,0^{\circ}\text{C}$ dan berada pada zona Terlalu Panas. Selanjutnya, suhu air menunjukkan tren penurunan secara bertahap dan konsisten sepanjang periode pengujian, melewati ambang batas $30,0^{\circ}\text{C}$ pada sekitar pukul 08.16.39–08.18.09 dan memasuki zona Normal. Setelah memasuki zona Normal, suhu air terus menurun secara perlahan hingga mencapai nilai terendah sebesar $29,2^{\circ}\text{C}$ pada akhir periode pengujian (pukul 11.18.11), dan bertahan pada kisaran tersebut hingga pukul 11.24.41. Pola penurunan suhu yang gradual ini menunjukkan proses pendinginan alami air kolam seiring berjalannya waktu malam, tanpa adanya intervensi pemanasan dari sistem, sehingga suhu air berada pada zona Normal secara stabil pada paruh akhir periode pengujian.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring kualitas air dan feeder otomatis berbasis IoT menggunakan ESP32 berhasil direalisasikan dan berfungsi sesuai dengan rancangan. Sistem mampu memantau parameter suhu, pH, dan TDS secara *real-time*, menampilkan data pada LCD dan aplikasi Blynk, serta memberikan pakan secara otomatis berdasarkan jadwal maupun secara manual.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor suhu DS18B20 memiliki akurasi **98,13%**, sensor pH **97,16%**, dan sensor TDS **94,54%**, sehingga ketiga sensor layak digunakan untuk memantau kualitas air kolam ikan patin. Selain itu, sistem pengendalian pH berbasis *Mekanisme*

Pengendalian pH mampu mengaktifkan pompa pH Up maupun pH Down secara otomatis sesuai kondisi air, termasuk menangani kondisi darurat ketika nilai pH berada di luar batas aman. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan mampu membantu pembudidaya dalam memantau kualitas air, menjaga kestabilan pH, serta mengotomatisasi pemberian pakan sehingga pengelolaan kolam menjadi lebih efisien dan praktis.

4.2 Saran

Pengembangan lebih lanjut dapat diarahkan pada penerapan algoritma kontrol yang lebih adaptif agar koreksi pH dapat dilakukan secara lebih optimal dan presisi, serta penambahan aktuator pengaduk pada kolam sehingga larutan dosing dapat terlarut dan menyebar lebih cepat ke seluruh volume air, yang pada akhirnya dapat memperpendek waktu tunggu antar siklus dosing dan meningkatkan efektivitas pengendalian pH secara keseluruhan.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Fajar Suryawan, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan selama proses penelitian dan penyusunan naskah publikasi ini. Terima kasih juga kepada keluarga dan rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta atas dukungan dan bantuan yang diberikan selama penelitian berlangsung. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya juga penulis sampaikan kepada teman-teman terdekat yang selalu hadir mendengarkan setiap keluh kesah, memberikan semangat, dan tidak pernah lelah mendukung penulis hingga penelitian ini dapat terselesaikan.

UMS LIBRARY
-TERAKREDITASI A-

DAFTAR PUSTAKA

- Aldaka, R.A. (2023) 'Sistem Otomatisasi Pengkondisian Suhu, pH, dan Kejernihan Air Kolam Pada Pembudidayaan Ikan Patin', *Jurnal Mahasiswa TEUB*, 1(4), pp. 1–7.
- Balvin Immanuel Koromari, F.D. (2023) 'PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PAKAN OTOMATIS DAN MONITORING TDS PADA KOLAM IKAN HIAS BERBASIS IOT', 02, pp. 154–169.
- Gunawan, I. and Ahmadi, H. (2024) 'Kajian Dan Rancang Bangun Alat Pakan Ikan Otomatis (Smart Feeder) Pada Kolam Budidaya Ikan Berbasis Internet Of Things Tehnologi digital saat ini mendatangkan sebuah kehidupan yang serba instan , segala sesuatu serba cepat , informasi tersebar dalam hit', 7(1), pp. 40–51.
- Ida Handayani1, Erwin Nofyan1, M.W. IPS. A. (2014) 'OPTIMASI TINGKAT PEMBERIAN PAKAN BUATAN TERHADAP PERTUMBUHAN DAN KELANGSUNGAN HIDUP IKAN PATIN JAMBAL (Pangasius djambal)', 2(2), pp. 175–187.
- Indartono, K., Kusuma, B.A. and Putra, A.P. (2020) 'Perancangan Sistem Pemantau Kualitas Air Pada Budidaya Ikan Air Tawar', *Journal of Information System Management (JOISM)*, 1(2), pp. 11–17. Available at: <https://doi.org/10.24076/joism.2020v1i2.23>.
- Oktafiadi, R. (2016) 'Sistem Pemantau Kekeruhan Air Dan Pemberi', *Jurnal Ilmu Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, 2(1), pp. 7–16.
- Putrawan, I.G.H., Rahardjo, P. and Agung, I.G.A.P.R. (2019) 'Sistem Monitoring Tingkat Kekeruhan Air dan Pemberi Pakan Otomatis pada Kolam Budidaya Ikan Koi Berbasis NodeMCU', *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 19(1), p. 1. Available at: <https://doi.org/10.24843/mite.2020.v19i01.p01>.
- Susanto, W., Sukadarmika, G. and Setiawan, W. (2021) 'Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Untuk Pembudidayaan Ikan Patin Berbasis Internet of Things (Iot)', *Jurnal SPEKTRUM*, 8(3), p. 128. Available at: <https://doi.org/10.24843/spektrum.2021.v09.i03.p16>.
- Tahapari, E. and Darmawan, J. (2018) 'Kebutuhan Protein Pakan Untuk Performa Optimal Benih Ikan Patin Pasupati (Pangasiid)', *Jurnal Riset Akuakultur*, 13(1), pp. 47–56. Available at: <https://doi.org/10.15578/jra.13.1.2018.47-56>.
- WWF-Indonesia (2015) *Budidaya ikan patin siam* (. Edisi 1. Jakarta: WWF-Indonesia.

-TERAKREDITASI A-