

SISTEM MONITORING KUALITAS AIR BIOFLOK IKAN NILA BERBASIS IOT DENGAN FSM SEBAGAI PENDUKUNG KEPUTUSAN DAN REKOMENDASI TINDAKAN

Wiswa Nath¹, I Nyoman Saputra Wahyu Wijaya², Bagus Gede Krishna Yudistira³, Putu Zasya Eka Satya Nugraha⁴, Ja'far Shiddiq⁵

^{1,2}Jurusan Teknologi Informatika, Fakultas Teknik dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Ganesha; Jl. Udayana No.11, Banjar Tegal, Singaraja, Kabupaten Buleleng, Bali 81116

³Dago Engineering; Jl. Bukit Dago Selatan No.27-29, Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat; 40135

Keywords:

Internet of Things (IoT);
Finite State Machine (FSM);
Monitoring Kualitas Air;
Bioflok; Telegram Bot.

Correspondent Email:

wiswa@student.undiksha.ac.id

Abstrak. Kualitas air merupakan faktor penentu keberhasilan budidaya ikan sistem bioflok, namun pemantauan secara manual sering kali tidak akurat dan tidak efisien. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring kualitas air berbasis Internet of Things (IoT) guna membantu pembudidaya memantau kondisi kolam secara real-time. Sistem ini dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang mengintegrasikan sensor pH, TDS, dan ultrasonik JSN-SR04T. Metode Finite State Machine (FSM) digunakan sebagai logika pengambilan keputusan untuk menentukan status sistem menjadi standby, drain, atau refill berdasarkan parameter yang terukur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi fluktuasi kualitas air dengan rata-rata pH 7,98, TDS 155,5 ppm, dan ketinggian air 21,3 cm, serta mengirimkan notifikasi peringatan secara konsisten melalui Telegram Bot. Dominasi status drain sebesar 70% dalam pengujian menunjukkan responsivitas sistem dalam mendeteksi anomali. Kesimpulannya, penerapan metode FSM pada sistem berbasis IoT ini efektif mentransformasi data sensor menjadi rekomendasi tindakan yang terstruktur, sehingga meningkatkan efisiensi pengawasan dan meminimalkan risiko kegagalan budidaya.



Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstract. *Water quality is a determining factor for the success of biofloc system fish farming; however, manual monitoring is often inaccurate and inefficient. This study aims to design an Internet of Things (IoT)-based water quality monitoring system to assist farmers in monitoring pond conditions in real-time. The system was developed using an ESP32 microcontroller integrating pH, TDS, and JSN-SR04T ultrasonic sensors. The Finite State Machine (FSM) method was used as the decision-making logic to determine the system status as standby, drain, or refill based on measured parameters. The test results show that the system can detect water quality fluctuations with an average pH of 7.98, TDS of 155.5 ppm, and water level of 21.3 cm, while consistently sending warning notifications via Telegram Bot. The dominance of the drain status at 70% during testing demonstrates the system's responsiveness in detecting anomalies. In conclusion, the implementation of the FSM method in this IoT-based system effectively transforms sensor data into structured action recommendations, thereby increasing monitoring efficiency and minimizing the risk of cultivation failure.*

1. PENDAHULUAN

Kualitas air adalah elemen krusial dalam mempertahankan stabilitas ekosistem perairan, terutama dalam kegiatan budidaya ikan berbasis bioflok, seperti pada budidaya ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang banyak diperkenalkan karena memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan kemampuan adaptasi yang baik terhadap lingkungan. [13] Sistem bioflok terkenal dapat meningkatkan efisiensi produksi dengan menggunakan mikroorganisme untuk mengubah limbah organik menjadi sumber nutrisi tambahan untuk ikan [1], [6]. Akan tetapi, keberhasilan sistem ini sangat tergantung pada kualitas air yang stabil dan terjaga.

Parameter utama yang digunakan dalam pemantauan kualitas air meliputi Tingkat keasaman (pH), Total Dissolved Solids (TDS), serta ketinggian air [4], [7], [18]. Nilai pH yang tidak sesuai dapat mengganggu metabolisme ikan, sedangkan nilai TDS berpengaruh terhadap konsentrasi zat terlarut yang berkaitan dengan proses biologis dalam sistem bioflok. Selain itu, ketinggian air juga berperan dalam menjaga kestabilan lingkungan kolam [2], [9].

Dalam praktiknya, pengawasan kualitas air masih sering dilakukan secara manual dengan jangka waktu tertentu. Metode ini memiliki sejumlah kekurangan, seperti ketergantungan pada pengoperasi, keterlambatan dalam mengidentifikasi perubahan kondisi air, serta rendahnya efektivitas dalam pengelolaan data [6], [16]. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring yang mampu melakukan pemantauan secara real-time dan menyediakan informasi kondisi air secara cepat.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan integrasi sensor dan perangkat komunikasi untuk melakukan pemantauan kondisi lingkungan secara jarak jauh [3], [15]. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring kualitas air berbasis IoT menggunakan sensor pH dan TDS [1], [4], [5], [20]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada penyajian data tanpa menyediakan mekanisme pengambilan keputusan yang terstruktur.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu metode yang mampu mengelola logika pengambilan keputusan secara sistematis. Finite State Machine (FSM) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan karena memiliki struktur logika yang

sederhana, jelas, dan mudah diimplementasikan pada sistem embedded [12], [14]. Dengan FSM, kondisi sistem dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa state berdasarkan nilai parameter yang diukur.

Dalam penelitian ini, sebuah sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT dirancang dengan memanfaatkan sensor pH, sensor TDS, dan sensor ultrasonik untuk mengukur tinggi air [9], [20]. Metode FSM diterapkan untuk mengidentifikasi status sistem dalam tiga keadaan utama, yaitu standby, drain, dan refill [14]. Sistem ini juga menyediakan Telegram Bot sebagai sarana notifikasi langsung kepada pengguna untuk mendukung sistem peringatan dini [10], [11], [20].

Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini masih berada pada tahap prototipe, sehingga parameter kualitas air yang digunakan disesuaikan dengan kondisi pengujian awal dan belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi bioflok yang matang, yang umumnya memiliki nilai TDS lebih tinggi. Selain itu, sistem ini tidak melakukan kontrol aktuator secara otomatis, melainkan memberikan rekomendasi tindakan kepada pengguna berdasarkan kondisi kualitas air.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring kualitas air berbasis IoT yang mampu melakukan pemantauan secara real-time serta memberikan rekomendasi tindakan berdasarkan hasil analisis kondisi kualitas air.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) merupakan sebuah paradigma di mana objek fisik dilengkapi dengan sensor dan perangkat lunak untuk saling berkomunikasi melalui jaringan internet [3]. Dalam penelitian ini, IoT digunakan sebagai tulang punggung untuk mengintegrasikan sensor pH, TDS, dan ultrasonik dengan mikrokontroler ESP32, sehingga memungkinkan proses monitoring kualitas air dilakukan secara *real-time* dan jarak jauh tanpa terbatas oleh sekat fisik [15], [16].

2.2. *Sensor pH*

Sensor pH berfungsi untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan dalam suatu larutan melalui pembacaan beda potensial kimia. Dalam budidaya ikan, menjaga stabilitas pH sangat krusial karena perubahan nilai pH yang drastis dapat menyebabkan stres pada ikan dan mengganggu metabolisme biologisnya [8], [17]. Nilai pH yang digunakan sebagai acuan dalam sistem ini berada pada rentang 6.5 hingga 9, yang merujuk pada standar kondisi aman untuk kelangsungan hidup ikan nila [18].

2.3. *Sensor Total Dissolved Solids (TDS)*

Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) digunakan untuk mengukur jumlah zat padat terlarut dalam air, seperti garam, mineral, dan logam, dalam satuan *part per million* (ppm) [7]. Dalam sistem bioflok, TDS menjadi indikator penting untuk memantau konsentrasi padatan tersuspensi yang berasal dari mikroorganisme dan sisa pakan [4]. Meskipun pada tahap prototipe ini rentang TDS disesuaikan dengan kondisi pengujian awal, sensor ini tetap berperan vital sebagai parameter penentu kualitas lingkungan kolam [18].

2.4. *Sensor Ultrasonik JSN-SR04T*

Sensor JSN-SR04T adalah sensor pengukur jarak yang bekerja dengan prinsip pantulan gelombang ultrasonik. Berbeda dengan sensor ultrasonik standar, tipe JSN-SR04T memiliki keunggulan berupa modul sensor yang bersifat *waterproof* (tahan air), sehingga sangat ideal untuk aplikasi monitoring level air pada tandon atau kolam [9]. Data ketinggian air ini menjadi input utama bagi sistem untuk menentukan kapan kondisi pengisian ulang (*refill*) harus dilakukan [2], [11].

2.5. *Finite State Machine (FSM)*

Finite State Machine (FSM) adalah model komputasi yang terdiri dari sejumlah status (*state*) yang terbatas, transisi antar status, dan aksi yang dipicu oleh kondisi

tertentu [12]. Metode ini dipilih karena kesederhanaan logikanya dalam menangani pengambilan keputusan pada sistem *embedded* [14]. Dalam penelitian ini, FSM membagi logika kerja sistem ke dalam tiga *state* utama: *standby* (kondisi aman), *drain* (perlu pengurasan), dan *refill* (perlu pengisian air) [14].

2.6. *Telegram Bot*

Telegram Bot merupakan aplikasi pihak ketiga yang berjalan di dalam aplikasi Telegram untuk memfasilitasi komunikasi otomatis antara mesin dan pengguna melalui protokol API. Penggunaan Telegram sebagai media notifikasi dinilai lebih efektif dibanding metode konvensional karena bersifat *real-time*, ringan, dan mudah diakses melalui *smartphone* [10]. Bot ini berfungsi memberikan peringatan dini (*early warning*) kepada pembudidaya mengenai status kualitas air secara periodik maupun saat terjadi anomali [11], [19].

3. METODE PENELITIAN

3.1. *Rancangan Penelitian*

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) yang bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring kualitas air berbasis Internet of Things (IoT) [2], [16]. Pendekatan ini dipilih karena mampu mengintegrasikan proses perancangan, implementasi, dan evaluasi sistem secara sistematis.

Tahapan penelitian meliputi:

1. Analisis kebutuhan sistem
2. Perancangan perangkat keras dan perangkat lunak
3. Implementasi sistem
4. Pengujian dan evaluasi sistem

Metode ini banyak digunakan dalam pengembangan sistem berbasis IoT karena mampu menghasilkan sistem yang sesuai dengan kebutuhan pengguna dan kondisi lapangan

3.2. *Arsitektur Sistem*

Sistem monitoring kualitas air terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu mikrokontroler ESP32, sensor pH, sensor Total Dissolved Solids (TDS), dan sensor ultrasonik JSN-SR04T [9], [15], [20]. ESP32 berfungsi sebagai pusat pengolahan data yang membaca nilai sensor, memproses data, serta mengirimkan hasil monitoring melalui jaringan internet [3], [5].

Sensor pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman air, sensor TDS digunakan untuk mengukur jumlah zat terlarut, sedangkan sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur ketinggian air. Data dari sensor dibaca secara periodik dan dikirimkan ke sistem untuk dianalisis.

Penggunaan sistem berbasis IoT memungkinkan proses monitoring dilakukan secara real-time dan jarak jauh, sehingga meningkatkan efisiensi pengawasan kualitas air

3.3. Parameter Sistem

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pH, Total Dissolved Solids (TDS), dan ketinggian air. Parameter tersebut dipilih karena memiliki pengaruh langsung terhadap kualitas air dan kondisi lingkungan budidaya. Setiap parameter memiliki rentang nilai yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan kondisi sistem menggunakan metode Finite State Machine (FSM) [4], [18].

3.3.1. Parameter Ph

Parameter pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan air. Dalam penelitian ini, nilai pH dibagi menjadi dua kondisi, yaitu normal dan tidak normal, yang digunakan sebagai dasar dalam menentukan state sistem transisi sistem sebagaimana dirinci pada Tabel 3.3.1 [17].

Tabel 3.3.1. Parameter pH dan Logika FSM

Kondisi	Rentang Nilai	State FSM	Aksi Sistem
Normal	6,5 - 9	Standby	Tidak ada aksi
Tidak Normal	<6,5 atau >9	Drain	Activate Drain Process

3.3.2. Parameter Total Dissolved Solids (TDS)

TDS digunakan sebagai indikator kebersihan air dari zat terlarut dengan rentang

normal 90 – 150 ppm untuk tahap prototipe ini [7]. Parameter ini sangat krusial karena mencerminkan kepadatan flok dan kebersihan air. Logika FSM untuk parameter TDS dapat dilihat pada Tabel 3.3.2.

Tabel 3.3.2. Parameter TDS dan Logika FSM

Kondisi	Rentang Nilai	State FSM	Aksi Sistem
Normal	90 – 150 ppm	Standby	Tidak ada aksi
Tidak Normal	< 90 atau > 150 ppm	Drain	Activate Drain Process

3.3.3. Parameter Ketinggian Air

Parameter ketinggian air digunakan untuk menentukan kondisi volume air dalam sistem. Parameter ini berperan dalam menentukan kebutuhan pengisian ulang air [9], [11]. Detail kondisi ketinggian air terhadap status sistem disajikan pada Tabel 3.3.3.

Tabel 3.3.3. Parameter Ketinggian Air Logika FSM

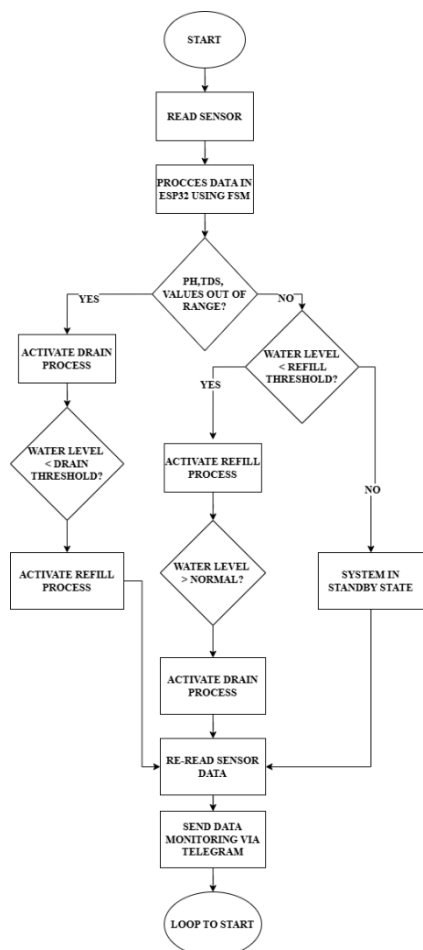
Kondisi	Rentang Nilai	State FSM	Aksi Sistem
Cukup	≥ 25 cm	Standby	Tidak ada aksi
Rendah	< 23 cm	Refill	Activate Refill Process

Rentang parameter yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan kondisi sistem yang masih berada pada tahap prototipe. Pada sistem bioflok yang telah matang, nilai TDS umumnya berada di atas 200 ppm. Oleh karena itu, penyesuaian parameter terhadap kondisi aktual dapat dilakukan pada tahap pengembangan selanjutnya [7].

3.4. Flowchart System

Flowchart sistem menggambarkan alur kerja sistem monitoring kualitas air yang dimulai dari pembacaan sensor pH, TDS, dan ketinggian air, kemudian diproses menggunakan metode FSM untuk menentukan kondisi sistem. Berdasarkan hasil evaluasi, sistem dapat berada pada state standby, drain, atau refill. Selanjutnya, data monitoring dikirimkan ke pengguna melalui Telegram dan proses diulang secara kontinu

[10], [14]. Alur nya digambarkan seperti Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Flowchart Sistem

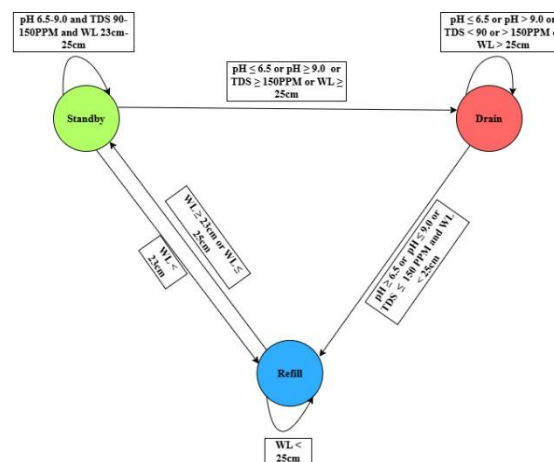
3.5. Perancangan FSM

Finite State Machine (FSM) digunakan sebagai metode untuk menentukan kondisi sistem berdasarkan nilai parameter kualitas air yang diperoleh dari sensor. FSM memungkinkan proses pengambilan keputusan dilakukan secara terstruktur dengan membagi kondisi sistem ke dalam beberapa state [12]. Pada penelitian ini, FSM terdiri dari tiga state utama, yaitu standby, drain, dan refill. State standby menunjukkan kondisi normal, di mana nilai pH berada pada rentang 6.5–9, TDS 90–150 ppm, dan ketinggian air ≥ 25 cm, sehingga sistem tidak memberikan rekomendasi tindakan [14]. State drain terjadi ketika nilai pH atau TDS berada di luar rentang normal, yang menandakan kualitas air tidak sesuai, sehingga sistem merekomendasikan proses pembuangan air (drain process). Sementara itu, state refill

terjadi ketika ketinggian air berada di bawah batas minimum (< 23 cm), sehingga sistem merekomendasikan pengisian ulang air (refill process).

Transisi antar state ditentukan berdasarkan hasil perbandingan nilai sensor dengan ambang batas yang telah ditentukan. Diagram FSM yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.5.

FSM digunakan untuk menentukan kondisi sistem dan memberikan rekomendasi tindakan, tanpa melakukan kontrol langsung terhadap aktuator.



Gambar 3.5. Logika Finite State Machine (FSM)

3.6. Teknik Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini diperoleh melalui pembacaan sensor secara langsung dari sistem yang telah dirancang. Pengambilan data dilakukan selama periode pengujian dengan frekuensi tiga kali dalam sehari, yaitu pagi, siang, dan sore.

Data yang dikumpulkan meliputi:

- Nilai pH air
- Nilai TDS air
- Ketinggian air
- Status sistem berdasarkan FSM

Pengambilan data secara periodik dilakukan untuk mengamati perubahan kondisi kualitas air secara real-time dan memastikan sistem mampu bekerja secara kontinu.

3.7. Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dari sensor dianalisis dengan membandingkan nilai aktual sensor terhadap ambang batas yang telah ditetapkan dalam tabel logika FSM. Hasil analisis ini

menentukan pesan rekomendasi yang akan dikirimkan kepada pengguna melalui sistem peringatan dini berbasis Telegram [11], [14].

Kondisi sistem dibagi menjadi tiga state utama:

1. **Standby**, jika semua parameter dalam kondisi normal
2. **Drain**, jika nilai pH atau TDS berada di luar batas normal
3. **Refill**, jika ketinggian air berada di bawah batas minimum

Proses analisis dilakukan dengan membandingkan nilai sensor terhadap ambang batas yang telah ditentukan pada setiap parameter. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, sistem akan menentukan state yang sesuai dan menghasilkan rekomendasi tindakan kepada pengguna.

Pendekatan ini memungkinkan sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai sistem pendukung keputusan dalam pengelolaan kualitas air.

Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak melakukan kontrol aktuator secara otomatis, melainkan memberikan rekomendasi tindakan kepada pengguna berdasarkan kondisi yang terdeteksi.

3.8. Implementasi Sistem

Sistem diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor pH, TDS, dan ultrasonik. Program pada ESP32 dirancang untuk membaca data sensor secara berkala, memproses data menggunakan metode FSM, serta mengirimkan hasil monitoring ke pengguna.

Pengiriman data dilakukan melalui jaringan internet menggunakan Telegram Bot sebagai media komunikasi. Sistem mengirimkan notifikasi secara berkala serta memberikan peringatan ketika terjadi kondisi tidak normal [15], [16].

3.9. Integrasi Telegram Bot

Telegram Bot digunakan sebagai antarmuka antara sistem dan pengguna. Sistem mengirimkan informasi berupa nilai pH, TDS, ketinggian air, serta status FSM secara real-time.

Selain itu, Telegram Bot juga digunakan untuk memberikan notifikasi peringatan ketika sistem mendeteksi kondisi abnormal, seperti nilai pH atau TDS di luar batas normal, serta

ketinggian air yang rendah. Penggunaan Telegram Bot dinilai efektif dalam sistem monitoring karena mudah diakses dan mendukung komunikasi real-time [10], [19].

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Monitoring Sistem

Pengujian sistem monitoring kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) dilakukan dengan mengamati tiga parameter utama, yaitu nilai pH, *Total Dissolved Solids* (TDS), dan ketinggian air. Data diperoleh secara periodik selama periode penelitian, yaitu dari tanggal 24 Januari 2026 hingga 24 Maret 2026, dengan frekuensi pengambilan data sebanyak tiga kali dalam sehari (pagi, siang, dan sore). Data tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk memudahkan analisis perubahan kondisi air secara real-time [15], [16].

4.1.1. Hasil Monitoring pH



Gambar 4.1.1. Grafik Perubahan Nilai pH

Hasil monitoring menunjukkan nilai pH berada pada kisaran 6 hingga 10, dengan rata-rata sebesar 7.98. Berdasarkan standar budidaya ikan nila, rentang pH ideal adalah 6,5–9 [17], [18]. Ditemukannya nilai pH di angka 10 pada grafik di Gambar 4.1.1, menunjukkan kondisi air yang terlalu basa, yang dapat menyebabkan stres pada ikan dan menghambat pertumbuhan mikroorganisme pada sistem bioflok [1], [6]. Hal ini membuktikan bahwa sensor pH mampu mendeteksi anomali kimiawi air secara akurat sesuai dengan kebutuhan pemantauan jarak jauh [8].

4.1.2. Hasil Monitoring TDS



Gambar 4.1.2. Grafik Perubahan Nilai TDS

Berdasarkan hasil monitoring, nilai TDS mengalami fluktuasi selama periode pengamatan dengan rentang nilai sekitar 90 ppm hingga 290 ppm, dan rata-rata sebesar 155.5 ppm.

Pada beberapa waktu tertentu, nilai TDS terlihat melebihi batas normal yang telah ditentukan (90–150 ppm), sebagaimana ditunjukkan oleh puncak grafik pada Gambar 4.2. Kondisi ini menunjukkan adanya peningkatan jumlah zat terlarut dalam air yang dapat mempengaruhi kualitas lingkungan budidaya. Kenaikan nilai TDS yang signifikan mengindikasikan bahwa sistem berhasil mendeteksi kondisi kualitas air yang tidak normal, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan [13], [17].

4.1.3. Hasil Monitoring Ketinggian Air

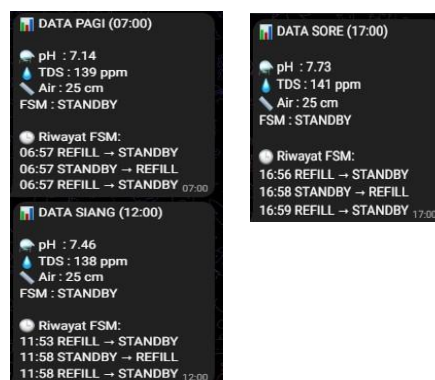


Gambar 4.1.3. Grafik Perubahan Ketinggian Air

Berdasarkan hasil pengamatan, ketinggian air berada pada kisaran 16 cm hingga 25 cm, dengan rata-rata sebesar 21.3 cm. Terlihat bahwa pada beberapa kondisi, ketinggian air berada di bawah batas minimum (<23 cm), sebagaimana ditunjukkan oleh titik-titik rendah pada grafik di Gambar 4.3. Penurunan ini mengindikasikan perlunya proses pengisian ulang air (refill) [14]. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan

volume air dan memberikan rekomendasi tindakan yang sesuai [9], [11].

4.1.4. Hasil Integrasi Notifikasi Telegram



Gambar 4.1.4. Integrasi Notifikasi Telegram

Selain melakukan monitoring terhadap parameter kualitas air melalui sensor, sistem ini juga dilengkapi dengan fitur notifikasi berbasis Telegram Bot sebagai *output* dari sistem pendukung keputusan. Hasil implementasi dan pengiriman pesan otomatis ini ditunjukkan pada Gambar 4.1.4, yang menampilkan antarmuka pesan masuk pada perangkat pengguna.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem berhasil mengirimkan notifikasi secara konsisten sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan, yaitu sebanyak tiga kali dalam sehari [19]. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.1.4, informasi yang dikirimkan meliputi nilai *real-time* pH, TDS, dan ketinggian air, serta status kondisi sistem (seperti Standby, Drain, atau Refill) yang dihasilkan dari klasifikasi logika FSM.

Fitur notifikasi ini membantu pengguna dalam melakukan pemantauan jarak jauh tanpa harus mengakses sistem secara langsung di lokasi budidaya. Dengan adanya integrasi Telegram, sistem monitoring menjadi lebih efektif dalam memberikan informasi secara *real-time* serta responsif terhadap setiap perubahan kondisi air yang memerlukan tindakan segera [10], [11].

4.2. Analisis Sistem Berdasarkan FSM

Berdasarkan data hasil monitoring, sistem melakukan klasifikasi kondisi menggunakan metode Finite State Machine (FSM) ke dalam tiga state utama, yaitu *standby*, *drain*, dan *refill*

[12]. Hasil rekapitulasi transisi *state* selama periode pengujian disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Rekapitulasi State FSM

State	Jumlah	Persentase
Standby	25	20.8%
Drain	84	70.0%
Refill	11	9.2%
Total	120	100%

Hasil rekapitulasi menunjukkan bahwa state drain merupakan kondisi yang paling dominan, yaitu sebesar 70.0%. Hal ini mengindikasikan bahwa kualitas air pada sistem sering berada di luar batas normal, terutama dipengaruhi oleh parameter pH dan TDS.

State standby terjadi sebesar 20.8%, yang menunjukkan bahwa kondisi sistem stabil hanya pada sebagian waktu pengamatan. Sementara itu, state refill terjadi sebesar 9.2%, yang menunjukkan adanya kondisi ketinggian air yang berada di bawah batas minimum. Hal ini mempertegas bahwa pemantauan kontinu berbasis IoT sangat diperlukan dibandingkan pemantauan manual yang memiliki risiko keterlambatan deteksi yang tinggi [5], [16].

4.3. Analisis Transisi FSM

Selain analisis *state* secara statis, dilakukan juga analisis terhadap pola transisi antar *state* untuk mengevaluasi dinamika pengambilan keputusan sistem berdasarkan riwayat data yang tercatat. Distribusi frekuensi perpindahan kondisi sistem disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.3. Distribusi Transisi FSM

Transisi FSM	Jumlah	Persentase
Refill → Drain	206	17.9%
Standby → Drain	205	17.8%
Drain → Standby	200	17.4%
Drain → Refill	192	16.7%
Standby → Refill	181	15.7%
Refill → Standby	167	14.5%
Total	1151	100%

Berdasarkan hasil analisis, transisi yang paling sering terjadi adalah dari refill ke drain dan standby ke drain, yang menunjukkan bahwa sistem sering mendeteksi kondisi kualitas air yang tidak sesuai.

Selain itu, tingginya jumlah transisi dari drain ke standby dan drain ke refill menunjukkan bahwa sistem mampu merespon perubahan kondisi air secara dinamis setelah dilakukan tindakan.

Frekuensi transisi yang tinggi antar state menunjukkan bahwa sistem bekerja secara responsif terhadap perubahan parameter kualitas air secara real-time [14].

4.4. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring kualitas air berbasis IoT yang dikembangkan mampu melakukan pemantauan secara real-time dengan tingkat akurasi yang memadai untuk skala prototipe. Fluktuasi nilai TDS yang ditemukan (rata-rata 155.5 ppm) menunjukkan adanya dinamika zat terlarut yang signifikan, yang dalam konteks bioflok merupakan indikator aktivitas mikroorganisme dan sisa pakan [1], [13]. Meskipun demikian, nilai TDS yang melebihi ambang batas prototipe (150 ppm) memberikan sinyal awal bagi pembudidaya untuk melakukan pengenceran atau pembersihan guna menjaga kualitas lingkungan hidup ikan [7], [18].

Sementara itu, perubahan nilai pH yang tidak stabil (berada pada kisaran 6 hingga 10) menegaskan perlunya pengendalian kondisi kimia air secara lebih intensif. Nilai pH yang mencapai angka 10 (sangat basa) dapat menghambat pertumbuhan ikan nila dan merusak keseimbangan flok dalam kolam [17]. Dalam hal ini, penggunaan sensor pH yang terintegrasi dengan ESP32 terbukti efektif dalam mendeteksi anomali tersebut secara cepat dibandingkan metode manual [8], [15].

Penerapan metode Finite State Machine (FSM) menjadi keunggulan utama dalam sistem ini. FSM berhasil mentransformasi data mentah dari sensor menjadi informasi status yang terstruktur (Standby, Drain, Refill). Hal ini membuktikan bahwa FSM sangat cocok diimplementasikan pada sistem embedded karena kesederhanaan logikanya namun tetap mampu memberikan rekomendasi tindakan yang presisi sebagai sistem pendukung keputusan (decision support system) [12], [14]. Selain itu, integrasi notifikasi berbasis Telegram Bot secara signifikan meningkatkan responsibilitas pengguna dalam menghadapi perubahan kondisi air yang mendadak [10], [11].

4.5. Implikasi Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini memiliki implikasi praktis dan teknis bagi pengembangan teknologi akuakultur, antara lain:

1. **Modernisasi Budidaya:** Sistem ini menunjukkan potensi besar untuk diterapkan pada skala budidaya ikan nila secara nyata guna menggantikan pemantauan manual yang tidak efisien dan rentan terhadap *human error* [16].
2. **Mitigasi Risiko:** Dengan pemantauan secara *real-time*, pembudidaya dapat mengambil tindakan preventif lebih cepat sebelum kondisi air mencapai titik kritis yang dapat menyebabkan kematian massal pada ikan [6], [18].
3. **Efisiensi Sumber Daya:** Penggunaan status *Refill* pada FSM membantu dalam manajemen penggunaan air, memastikan pengisian hanya dilakukan saat volume benar-benar kurang, sehingga menghemat biaya operasional [9], [14].

Namun, sistem ini masih memiliki keterbatasan teknis, yaitu belum adanya kontrol otomatis langsung terhadap aktuator (seperti pompa atau filter). Oleh karena itu, penelitian ini memberikan landasan bagi pengembangan sistem otomatisasi penuh (*closed-loop system*) di mana transisi *state* pada FSM tidak hanya memberikan notifikasi, tetapi juga menggerakkan aktuator secara mandiri untuk mengoreksi kualitas air secara otomatis [14], [15].

5. KESIMPULAN

- a. Sistem monitoring kualitas air yang dikembangkan mampu melakukan pembacaan parameter dari sensor pH, Total Dissolved Solid (TDS), dan ketinggian air secara realtime dengan baik, serta menampilkan data hasil pengukuran secara kontinu.
- b. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai TDS dan pH mengalami fluktuasi, di mana Sebagian data berada di luar rentang normal, sehingga mempengaruhi kondisi kualitas air. Selain itu, mengalami penurunan pada beberapa kondisi yang memerlukan proses pengisian ulang (*refill*).
- c. Penerapan metode Finite State Machine (FSM) mengklasifikasikan kondisi sistem ke dalam tiga utama, yaitu Standby, Drain

dan Refill. Berdasarkan hasil analisis, state drain merupakan kondisi yang paling dominan, yang menunjukkan bahwa sistem sering mendeteksi kondisi kualitas air yang tidak normal.

- d. Analisis transisi FSM menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat responsivitas yang tinggi terhadap perubahan kondisi lingkungan. Hal ini ditunjukkan dengan frekuensi transisi antar state yang cukup besar, terutama pada transisi menuju state *drain* dan *refill*.
- e. Sistem yang dikembangkan memiliki kelebihan dalam hal monitoring *real-time* dan kemampuan memberikan rekomendasi tindakan secara otomatis berdasarkan kondisi parameter air. Namun, sistem ini masih memiliki keterbatasan, yaitu belum dilengkapi dengan control actuator secara otomatis, sehingga tindakan masih bergantung pada pengguna.
- f. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan fitur kontrol otomatis (*closed-loop system*), kalibrasi sensor yang lebih akurat, serta penyesuaian parameter sesuai kondisi nyata pada sistem bioflok agar sistem dapat diterapkan secara lebih optimal pada skala budidaya yang sesungguhnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan dan penyelesaian penelitian ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada pihak kampus, khususnya Fakultas Teknik dan Kejuruan yang telah menyediakan lingkungan akademik yang kondusif serta fasilitas pendukung dalam proses penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berharga selama proses perancangan, implementasi, hingga penyusunan penelitian ini. Selain itu, apresiasi diberikan kepada rekan-rekan yang telah membantu dalam proses pengujian sistem, pengambilan data, serta memberikan dukungan selama penelitian berlangsung. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya juga penulis sampaikan kepada keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan, dan motivasi

sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. A. Suriasni et al., "IoT water quality monitoring and control system in moving bed biofilm reactor to reduce total ammonia nitrogen," *Sensors*, vol. 24, no. 2, p. 494, 2024.
- [2] M. Wijaya, I. P. T. H. Permana, dan M. A. P. Putra, "IoT-Based Automatic Control and Monitoring System for Reverse Osmosis Storage Tanks," *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika (JANAPATI)*, vol. 14, no. 2, pp. 398–407, 2025.
- [3] I. G. A. Gunadi dan D. Oktofa Rachmawati, "Review Penggunaan Sensor Pada Aplikasi IoT," *Wahana Matematika dan Sains*, vol. 16, no. 3, 2023.
- [4] A. Syaputra and N. S. Prawira, "Implementasi teknologi IoT dalam sistem akuaponik dan akuakultur modern untuk optimasi pertumbuhan ikan lele," *ILKOMNIKA*, vol. 6, no. 3, pp. 383–392, 2024.
- [5] H. Muyasaroh, I. R. Islamy, A. S. R. Fakhry, dan M. Ismail, "Sistem Pendeteksi Kualitas Air Berbasis IoT pada Budidaya Tambak," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, 2025.
- [6] I. F. Ashari et al., "Sistem monitoring dan kontrol budidaya ikan nila berbasis IoT dengan bioflok (studi kasus: Kelompok Budidaya Ikan Sadewa Mandiri, Pringsewu)," *Suluah Bendang: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 22, no. 2, pp. 375–386, 2022.
- [7] A. Zafi, B. D. Saputra, dan M. A. Bianto, "The Monitoring System for Water Quality is Based on IoT Using TDS Sensor," *Indonesian Journal of Engineering, Science and Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 112–120, 2024.
- [8] L. Dutta et al., "An IoT-enabled smart pH monitoring and dispensing system for precision agriculture application," *Agricultural Research*, vol. 13, no. 2, pp. 309–318, 2024.
- [9] A. N. Az-Zikri, S. Indriyanto, dan A. Wicaksono, "Perancangan prototipe sistem monitoring level air tandon berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor ultrasonik JSNSR04T," *Jurnal SINTA: Sistem Informasi dan Teknologi Komputasi*, vol. 2, no. 1, pp. 13–22, 2025.
- [10] F. A. Fiddin, A. Rasyid, dan W. Waluyo, "Weather Anomaly Early Warning System Using Telegram Bot," *Jurnal Jaringan Telekomunikasi*, vol. 9, no. 1, pp. 33–41, 2025.
- [11] A. Zulfa, H. Syahputra, dan N. T. Wirawan, "Sistem monitoring kebersihan dan kedalaman air sumur berbasis IoT dengan notifikasi melalui Telegram," *Culture Education and Technology Research (CETERA)*, vol. 2, no. 2, pp. 61–73, 2025.
- [12] A. Yaragal and K. Bendigeri, "An integrated FSM-BABER-SROA framework for secure and energy-efficient internet of things networks using blockchain consensus," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 16, no. 1, pp. 518–534, 2026.
- [13] A. M. Muktitama et al., "Kinerja Produksi Ikan Nila Salin dengan Sistem Budidaya Bioflok pada Kolam Terpal di Daerah Istimewa Yogyakarta," *Jurnal Salamata*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2025.
- [14] A. R. Hutauruk, "Kendali Otomatis Tingkat Ketinggian Air dan Nutrisi pada Hidroponik Menggunakan Metode Finite State Machine," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, vol. 13, no. 1, 2025.
- [15] A. Bagaskara, I. W. Ardiyasa, dan I. M. D. Susila, "Kontrol dan monitoring kualitas air akuarium menggunakan protokol MQTT," in *Proc. Seminar Hasil Penelitian Informatika dan Komputer (SPINTER)*, Institut Teknologi dan Bisnis STIKOM Bali, vol. 2, no. 1, pp. 775–780, 2025.
- [16] I. E. Prasetya, S. Achmadi, dan D. Rudhistiar, "Penerapan IoT (Internet of Things) untuk sistem monitoring air dan controlling pada kolam ikan gurami berbasis website," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 6, no. 2, pp. 1184–1191, 2022.
- [17] A. D. Ramadhani et al., "Sistem sirkulasi air kolam otomatis berdasarkan nilai pH," *Publikasi Hasil Pengabdian kepada Masyarakat (PADIMAS)*, vol. 4, no. 1, pp. 1–6, 2024.
- [18] D. S. Pamungkas et al., "Sistem monitoring kualitas air kolam ikan nila," *ABEC Indonesia*, pp. 276–283, 2023.
- [19] M. B. Ulum and F. Badri, "Sistem monitoring cuaca dan peringatan banjir berbasis IoT dengan menggunakan aplikasi MIT App Inventor," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, vol. 11, no. 3, pp. 319–328, 2023.
- [20] B. G. K. Yudistira, C. Hapsari, G. D. W. Adnyana, W. Nath, and I. P. R. M. Putra, "Smart Fisheries: Real-Time Water Quality Management and Automated Feeding System Design for Tilapia Farming using ESP32 Micro Controller," *Journal of Artificial Intelligence and Software Engineering (JAISE)*, vol. 5, no. 2, pp. 827–832, Jun. 2025