

Sistem Deteksi Toksisitas Air Kolam Ikan Berbasis Sensor Analog Dan Mikrokontroler ESP32-S3

Yosua Hosea Januari Sinaga
School of Applied Science
Telkom University
Bandung, Indonesia

yosuasng@student.telkomuniversity.ac.id

Marlindia Ike Sari, S.T., M.T.
School of Applied Science
Telkom University
Bandung, Indonesia

marlindia@telkomuniversity.ac.id

Dr. Bayu, S.Si., M.Sc.
School of Computing
Telkom University
Bandung, Indonesia

erfianto@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Deteksi toksisitas air pada kolam ikan penting untuk menjaga kesehatan ikan dan mendukung keberhasilan budidaya. Pengukuran kualitas air secara manual dinilai kurang efektif karena memerlukan waktu, tenaga, dan tidak mampu memberikan informasi secara *real-time* terhadap perubahan kondisi air. Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi toksisitas air berbasis mikrokontroler ESP32-S3 yang terintegrasi dengan tiga sensor analog, yaitu sensor Suhu (DS18B20), pH meter, dan sensor Dissolved Oxygen (DO meter). Sistem ini dirancang untuk memantau parameter suhu, pH, dan kadar oksigen terlarut secara otomatis dan berkelanjutan, serta menampilkan hasil pengukuran melalui layar LCD. Proses kalibrasi dilakukan untuk memastikan akurasi setiap sensor, sedangkan pengujian sistem dilakukan dengan membandingkan data sensor terhadap alat referensi. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan pembacaan yang akurat, sehingga dapat digunakan sebagai alat bantu dalam mendeteksi potensi toksisitas air kolam ikan secara *real-time*. Dengan demikian, sistem ini diharapkan dapat membantu dalam pengambilan Keputusan cepat untuk mencegah potensi toksisitas pada air kolam ikan.

Kata kunci— Toksisitas, Kualitas Air, Pemantauan *real-time*, ESP32-S3

I. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya vital bagi kehidupan makhluk hidup, termasuk ikan yang sepenuhnya bergantung pada kualitas dan ketersediaannya[1]. Dalam budidaya perikanan air tawar kualitas air menjadi faktor utama dalam menentukan keberhasilan pemerliharaan ikan. Untuk menjaga kolam ikan tetap sehat, kondisi air harus dipantau dan dijaga secara konsisiten[2].

Dalam budidaya perikanan air tawar, air yang digunakan harus jernih, bebas pencemaran, dan memenuhi standar fisik serta kimia tertentu agar mendukung pertumbuhan ikan secara optimal[3]. Kegiatan budidaya menghasilkan limbah padat dan cair, seperti feses dan sisa pakan, yang dapat menurunkan kualitas air. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan yang baik terhadap kualitas air pada media pemerliharaan ikan[4].

Dari permasalahan tersebut, parameter utama yang harus diperhatikan dalam kualitas air meliputi suhu pH dan kadar oksigen terlarut. Suhu ideal untuk proses produksi ikan air tawar berada dalam kisaran 25-32°C, di mana suhu tersebut mendukung aktivitas metabolisme ikan secara optimal. Selain itu, Tingkat keasaman air (pH) harus dijaga dalam rentang 6,5-8,5 untuk menciptakan kondisi lingkungan yang stabil dan tidak menimbulkan stress pada ikan. Kadar oksigen terlarut juga menjadi parameter penting, dengan nilai minimum yang direkomendasikan sebesar ≥ 3 mg/L, agar kebutuhan respirasi ikan tetap tercukupi[5].

Dalam era modernisasi dan perkembangan teknologi yang pesat.pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) dalam sektor perikanan budidaya memudahkan pengelolaan kualitas air. Proyek ini merancang alat deteksi toksisitas air kolam ikan berbasis sensor analog dan mikrokontroler ESP32-S3 yang dapat memantau kondisi air secara *real-time*. Alat ini dilengkapi dengan sensor suhu (DS18B20), pH meter, dan sensor oksigen terlarut (DO meter). Dengan hasil pengukuran ditampilkan langsung melalui layer LCD. Sistem toksisitas ini memungkinkan peternak mengambil tindakan cepat saat terjadi perubahan kualitas air, sehingga mendukung kelangsungan hidup ikan dan keberhasilan budidaya.

II. KAJIAN TEORI

1.1 Tinjauan Pustaka

2.1 Dasar Teori

1. ESP32-S3

ESP32-S3 dirancang untuk aplikasi *IoT* berpeforma tinggi. ESP32-S3 menawarkan peningkatan dalam pemrosesan, memori, serta dukungan terhadap kecerdasan buatan dan *machine learning*. Dilengkapi dengan pin *GPIO* untuk koneksi sensor dan actuator, serta antarmuka *USB* yang memudahkan pemograman dan pemantauan data. Mendukung berbagai platform pengembangan seperti Arduino IDE dan ESP-IDF[6].

2. Liquid Crystal Display (LCD)

LCD (Liquid Crystal Display) merupakan jenis media tampilan yang menggunakan material kristal cair

sebagai elemen utama penampil. Modul LCD I2C 16x2 mampu menampilkan hingga 32 karakter, yang terbagi dalam dua baris, masing-masing dengan kapasitas 16 karakter. Pada perancangan lat ini, LCD digunakan untuk menampilkan data secara *real-time*[7].

3. Sensor Analog pH / Meter.Pro Kit V2

Sensor analog pH terdiri dari dua komponen utama, yaitu probe pH dan modul pH. yang menghubungkan probe pH dengan mikrokontroler, seperti Arduino dan mengubah sinyal analog dari probe menjadi sinyal digital yang dapat dibaca oleh mikrokontroler. Sensor ini memiliki rentang pengukuran dari pH 0 hingga pH 14 dan beroperasi pada tegangan 5V DC[8].

4. Sensor Dissolved Oxygen / Meter Kit

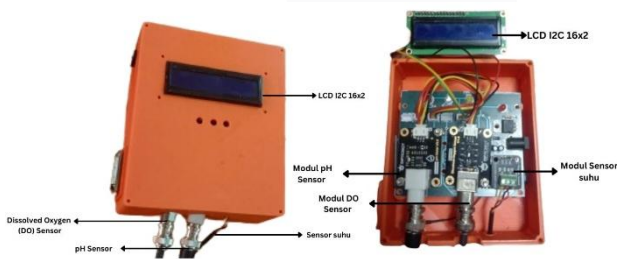
Sensor dissolved oxygen atau sensor oksigen terlarut (DO) adalah sensor elektrokimia yang menghasilkan sinyal Listrik proporsional dengan konsentrasi oksigen melalui reaksi gas oksigen dengan larutan elektrolit. Sensor DO yang berfungsi dengan probe galvanic tanpa perlu waktu polarisas, komponen pengisi dan membrane yang dapat diganti, serta konsumsi perawatan rendah. Sensor ini bekerja dengan tegangan suplai 3,3-5,5V, menghasilkan output analog 0-3,0V yang kompatibel dengan mikrokontroler berfungsi ADC[9].

5. Sensor DS18B20

Sensor suhu DS18B20 merupakan thermometer digital berbasis antarmuka 1-wire tahan air. sensor ini mampu mengukur suhu antara -55 °C hingga 125 °C dengan akurasi $\pm 0,5$ °C pada kisaran 10 °C hingga 85 °C, menjadikannya handal untuk pemantau suhu air secara presisi[10].

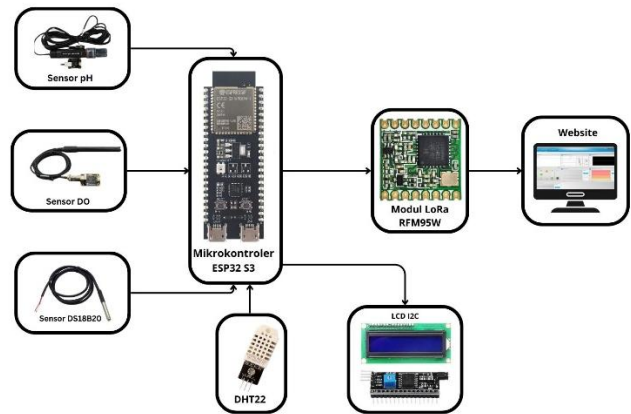
III. ANALISIS DAN PERANCANGAN

3.1 Gambaran Sistem Saat Ini



Gambar 1. Menunjukkan sistem yang digunakan dalam penelitian ini, di mana sensor-sensor analog terhubung langsung dengan mikrokontroler ESP32-S3. Sistem ini memanfaatkan tiga jenis sensor yaitu, sensor suhu, sensor pH dan sensor oksigen terlarut (DO) untuk mendeteksi tingkat toksisitas air pada kolam ikan. Data yang diperoleh dari ketiga sensor tersebut diproses oleh mikrokontroler ESP32-S3, kemudian ditampilkan melalui modul LCD I2C dalam bentuk informasi nilai suhu, Tingkat keasaman (pH), dan kadar oksigen terlarut (DO) yang terukur.

3.2 Blok Sistem Usulan



Blok diagram pada bagian ini berfungsi untuk memberikan gambaran mengenai alur kerja dan komponen utama sistem, sehingga memudahkan dalam proses perancangan dan pengembangan sistem yang akan dibuat. Blok diagram ini terdiri atas beberapa blok utama yang saling terhubung, yaitu:

1. Sensor Analog

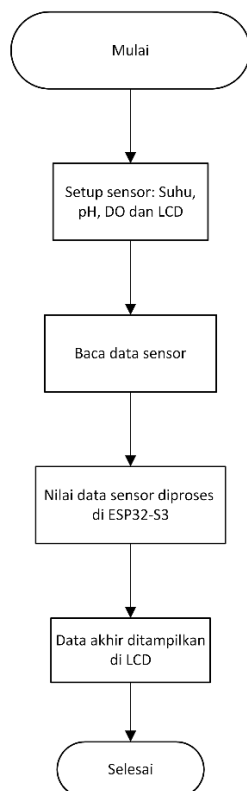
Pada bagian ini, sensor-sensor analog yang digunakan meliputi sensor suhu yang berfungsi untuk mengukur suhu air, sensor pH untuk mendeteksi Tingkat keasaman atau kebasaan air, serta sensor DO yang digunakan untuk mengukur kadar oksigen terlarut. Ketiga sensor tersebut beroperasi Bersama dalam memantau parameter kualitas air atau pun toksisitas dalam air dan mengirimkan data mentah ke mikokontroler untuk diproses lebih lanjut.

2. Mikrokontroler

Mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32-S3 Berperan sebagai pusat pengolahan data, yang menerima data dari sensor suhu, pH dan DO. Mikrokontroler ini memproses dan mengkalibrasi data untuk memastikan akurasi pengukuran, serta menghasilkan informasi yang tepat mengenai kualitas dan toksisitas air.

3. LCD sebagai Tampilan

Tahap terakhir adalah keluaran data pada LCD, di mana hasil pengolahan data ditampilkan secara *real-time*. Informasi yang ditampilkan mencakup suhu air, Tingkat keasaman atau kebasaan, dan kadar oksigen terlarut. LCD memungkinkan pemantauan air secara langsung dan pengambilan Langkah jika terdeteksi potensi toksik. Alur kerja ini dirancang untuk menciptakan sistem deteksi yang efektif dan efisien.



Gambar 3 menunjukkan alur kerja tahapan implementasi sistem deteksi toksisitas air pada kolam ikan. Proses dimulai dengan inisialisasi sistem, kemudian dilanjutkan dengan konfigurasi sensor suhu DS18B20, pH, dan Oksigen terlarut (DO), serta modul LCD sebagai media tampilan. Setelah sensor siap, sistem membaca data dari masing-masing sensor yang kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32-S3. Hasil pemrosesan data ditampilkan pada LCD untuk memungkinkan pemantauan kondisi air secara langsung. Setelah satu siklus selesai, sistem Kembali siap untuk memulai siklus pengukuran berikutnya.

3.3 Pengkalibrasian Sensor

Untuk memastikan sistem deteksi toksisitas air kolam ikan bekerja secara optimal ditetapkan beberapa indikator kinerja tolak ukur keberhasilan sistem seperti kalibrasi sensor.

1. Kalibrasi sensor *Dissolved Oxygen (DO)*

Kalibrasi sensor DO merupakan Langkah penting untuk memastikan akurasi pembacaan kadar oksigen terlarut dalam air. Terdapat dua metode kalibrasi utama, yaitu kalibrasi satu titik dan kalibrasi dua titik yang dipilih berdasarkan stabilitas suhu lingkungan saat pengukuran dilakukan.

Kalibrasi satu titik digunakan pada kondisi suhu stabil, dengan mencatat tegangan sensor saat berada dalam kondisi oksigen jenuh. Proses ini dilakukan melalui eksposur sensor ke udara terbuka setelah dibasahi, atau dengan merendam sensor dalam air murni yang telah dijenuhkan oksigen menggunakan pengadukan atau pemompaan selama 10 menit. Setelah tegangan stabil, nilai tegangan dan suhu dicatat.

Kalibrasi dua titik terapkan Ketika suhu lingkungan bervariasi, untuk memungkinkan kompensasi suhu. Dua

wadah air murni disiapkan pada suhu berbeda (satu dingin dan satu hangat <40 °C), kemudian masing-masing dijenuhkan oksigen dengan cara yang sama seperti sebelumnya. Sensor dicelupkan ke tiap wadah, dan setelah tegangan stabil, data suhu dan tegangan dicatat untuk membentuk kurva kompensasi suhu yang meningkatkan akurasi pembacaan sensor.



2. Kalibrasi sensor *pH*

Untuk memastikan akurasi pengukuran, sensor pH perlu dikalibrasi sebelum digunakan. Metode kalibrasi yang digunakan adalah kalibrasi dua titik dengan menggunakan larutan *buffer* standar, yaitu pH 4.0 dan pH 7. Pertama, sensor dibilas air suling dan dikeringkan, kemudian dicelupkan ke dalam larutan *buffer* pH 7.0. Setelah nilai pembacaan stabil, proses kalibrasi titik pertama dilakukan. Selanjutnya, sensor Kembali dibilas dan dikeringkan, lalu dimasukkan ke dalam larutan *buffer* pH 4.0. Setelah nilai stabil, kalibrasi titik kedua dilakukan. Setelah kedua titik berhasil dikalibrasi, sensor siap digunakan untuk pengukuran pH dengan Tingkat akurasi yang sesuai standar.

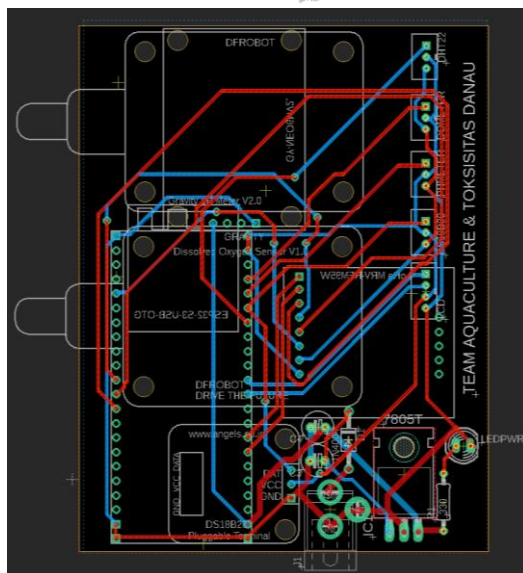
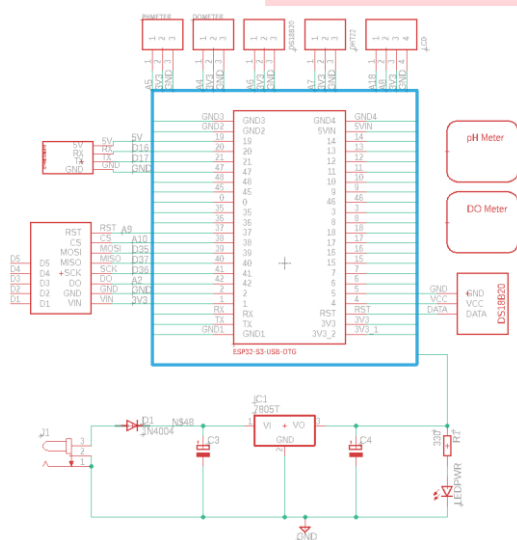


3.4 Perancangan Rangkaian Prototipe Alat

1. Perancangan Rangkaian Prototipe Sistem

Dalam sistem ini, konfigurasi pin pada mikrokontroler dirancang untuk mendukung keterhubungan sensor dan komponen secara efisien dan terstruktur. Sensor Dissolved Oxygen (DO) dihubungkan ke pin digital 4, sensor pH pada pin digital 5, dan sensor suhu (temperature) pada pin digital 6. Untuk tampilan data, digunakan modul LCD berbasis antarmuka I2C dengan pin SDA terhubung ke pin 8 dan pin SCL ke pin 18 pada mikrokontroler.

Seluruh sensor dan modul pendukung diberi catu data melalui pin VCC 3.3V, yang sesuai dengan tegangan kerja masing-masing komponen. Jalur ground (GND) juga disatukan pada pin GND mikrokontroler guna memastikan referensi tegangan yang stabil dan mencegah perbedaan potensial antar komponen. Konfigurasi ini dirancang untuk menjaga kestabilan komunikasi data dan akurasi pengukuran dalam sistem secara keseluruhan.



Printed Circuit Board (PCB) berperan sebagai papan utama yang mengintegrasikan seluruh komponen ke dalam satu sistem yang terstruktur dan efisien. PCB digunakan untuk menata dan menghubungkan sensor-sensor seperti Dissolved Oxygen (DO), pH, dan suhu, serta mikrokontroler dan modul pendukung lainnya seperti layar

LCD. Semua komponen tersebut dihubungkan melalui jalur konduktor yang dirancang secara presisi, guna memastikan kestabilan sinyal dan efektivitas aliran arus listrik dalam sistem.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Akhir (Luaran)

Pada bab ini disajikan pemaparan hasil pengujian kalibrasi sensor-sensor yang digunakan dalam sistem untuk memastikan akurasi data yang diperoleh. Kalibrasi dilakukan untuk menyelaraskan pembacaan sensor dengan nilai standar atau referensi, sehingga sensor dapat memberikan hasil yang sesuai dengan kondisi sebenarnya, serta data hasil pengukuran kualitas air yang diambil langsung dari kolam ikan sebagai bagian dari pengujian fungsional sistem. Parameter kualitas air di set seperti pada tabel 4.1.

Parameter	Min	Max
Suhu	25 °C	32 °C
pH	6,5	8,5
DO	3 mg/L	10 mg/L

4.2 Hasil Pengujian Kalibrasi Sensor

Berikut ini disajikan hasil data dari proses kalibrasi sensor yang telah dilakukan, beserta data dari alat pembanding atau nilai referensi:

Jenis Air	Nilai Alat Pembanding	Nilai Pembacaan Sensor (°C)
Air Panas	72.00 °C	72.00 °C
Air Normal	25.10 °C	25.00 °C
Air Dingin	14.00 °C	14.00 °C
Air Kolam Ikan	26.00 °C	26.00 °C

Kalibrasi dilakukan pada empat jenis air dengan suhu berbeda, yaitu air panas, air normal, air dingin, dan air kolam ikan. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa nilai pembacaan sensor suhu memiliki kesesuaian dengan alat pembanding. Misalnya, pada air panas, baik sensor maupun alat pembanding menunjukkan nilai 72.00 °C. begitu pula pada jenis air lainnya, selisih nilai sangat kecil atau bahkan tidak ada, yang mengindikasikan bahwa sensor bekerja dengan akurat.

Jenis Cairan	Nilai Alat Pembanding	Nilai Pembacaan Sensor	Error
pH 4.00	4.02	4.06	0.4
pH 7.00	6.86	6.94	0.8
pH 9.18	9.18	9.00	0.18

Kalibrasi sensor pH dilakukan menggunakan larutan buffer dengan nilai standar pH 4.00, 7.00 dan 9.18. dari hasil pengujian, terdapat sedikit perbedaan antara nilai alat pembanding dan hasil pembacaan sensor. Misalnya, pada larutan pH 7.00, alat pembanding menunjukkan nilai 6.86 sementara sensor mmebaca 6.94, dengan Tingkat error sebesar 0.8. secara keseluruhan, error yang ditunjukkan masih berada dala batas yang dapat diterima.

Jenis Cairan	Nilai Pembacaan Sensor (mg/L)
Air Mineral	7.7
Air Kolam	6.62

Sementara itu, sensor DO menunjukkan perbedaan kadar oksigen terlarut dengan hasil 7.7 mg/L pada air mineral dan 2.62 mg/L pada air kolam ikan, yang mencerminkan kemampuan sensor dalam mendeteksi variasi kondisi air.

4.3 Hasil Pengujian Pada Kolam Ikan



Sebelum proses pengujian sitem dilakukan, terlebih dahulu ditetapkan lokasi yang digunakan sebagai tempat pengambilan data dan pengujian alat. Kegiatan pengujian dilaksanakan di area kolam budidaya ikan yang berlokasi di Bandung Techno Park (BTP) Telkom University.

Waktu	Pengujian Pagi Hari			Waktu	Pengujian Sore Hari		
	Suhu (°C)	pH	DO		Suhu (°C)	pH	DO
10:58:26	24.63	7.40	3.36	16:34:59	26,25	7,09	2,45
10:58:46	24.63	7.41	3.88	16:40:02	26,31	7,4	2,25
10:59:05	24.69	7.43	4.79	16:45:08	26,25	7,39	2,49
10:59:22	24.63	7.45	5.69	16:50:09	26,31	7,26	2,18
10:59:40	24.63	7.48	6.34	16:55:08	26,25	7,29	2,62
10:59:59	24.63	7.53	6.86	17:00:07	26,31	7,61	2,01
11:00:17	24.63	7.53	6.86	17:05:08	26,19	7,67	2,35
11:00:35	24.63	7.54	6.86	17:10:09	26,12	7,72	2,75
11:00:55	24.63	7.55	6.6	17:15:07	26,19	7,67	2,78
11:01:13	24.69	7.56	6.6	17:20:11	26,19	7,72	2,15
11:01:32	24.75	7.57	6.21	17:25:11	26,12	7,71	2,32
11:01:51	24.75	7.59	5.95	17:30:09	26,12	7,57	2,28
11:02:09	24.75	7.59	5.82	17:35:09	26,12	7,62	2,68

Pengambilan data dilakukan dalam dua sesi, yakni pada paghari dan sore hari. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui bagaimana kondisi lingkungan perairan berubah pada dua waktu berbeda serta bagaimana sistem merespons perubahan tersebut.

Pada pagi hari, suhu air berada dalam rentang 24.63°C hingga 24.75 °C menunjukkan kondisi air yang relative sejuk dan stabil. Nilai pH mengalami peningkatan secara bertahap dari 7.4 hingga 7.59 yang masi dalam kisaran netral dan ideal bagi Sebagian besar ikan air tawar. Sementara itu, kadar oksigen terlarut (DO) menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan kemudian sedikit menurun di akhir sesi. Di sore hari, suhu air meningkat menjadi 26.12 °C hingga 26.31 °C akibat paparan sinar matahari. Meskipun demikian, suhu tersebut masih tergolong aman bagi ikan budidaya. Nilai pH juga menunjukkan fluktuasi, mulai dari 7.09 hingga 7.72 yang

mengindikasikan peningkatan akibat biologis di dalam air. sementara itu, kadar DO mengalami penurunan yang cukup mencolok, dengan nilai terendah sebesar 2.01 mg/L dan tertinggi hanya mencapai 2.78 mg/L.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa siste mampu merekam parameter lingkungan secara akurat dan responsif. Nilai suhu, dan pH cenderung berada dalam kondisi normal. Sementara kadar oksigen terlarut pada sore hari mengalami penurunan kualitas air secara *real-time* serta dapat diandalkan untuk memberikan peringatan dini apabila terjadi kondisi lingkungan yang tidak ideal.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Proyek ini berhasil merancang dan membangun sistem deteksi toksisitas air kolam ikan menggunakan mikrokontroler, ESP32-S3 dan tiga sensor utama: sensor suhu DS18B20, sensor pH dan sensor *Dissolved Oxygen* (DO). Sistem ini mampu membaca parameter-parameter penting kualitas air secara *real-time*, sehingga dapat membantu mendeteksi kondisi air yang berpotensi kondisi toksik bagi ikan.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem telah mampu beroperasi secara stabil dalam melakukan akuisisi dan penyajian data dari ketiga sensor yang digunakan, informasi yang dihasilkan oleh sistem ini memungkinkan pengguna untuk mengambil tindakan lebih cepat terhadap potensi penurunan kualitas air kolam dan potensi toksik pada ikan.

5.2 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan implementasi sistem deteksi toksisitas air kolam berbasis sensor analog dan mikrokontroler ESP32-S3 terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan acuan untuk pengembangan lebih lanjut, antara lain:

1. Penambahan Parameter Kualitas Air

Menambahkan sensor tambahan guna memantau parameter lain yang juga mempengaruhi kualitas air seperti, salinitas, kekeruhan (*turbidity*), atau kadar ammonia. Penambahan ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kondisi air kolam ikan dan meningkatkan keakuratan deteksi potensi toksisitas.

2. Penyempurnaan Proses Kalibrasi Sensor

Agar proses kalibrasi sensor, khususnya sensor pH dan DO, dapat dilakukan dengan lebih mudah dan efisien, disarankan untuk menambahkan fitur tombol kalibrasi manual pada sistem. Dengan adanya tombol ini, pengguna dapat melakukan kalibrasi secara langsung tanpa perlu mengakses ulang kode atau sistem pengaturan secara manual.

3. Penerapan Sistem Catu Daya

Untuk menunjang operasional perangkat dalam jangka waktu yang lebih lama, sebaiknya sistem dilengkapi dengan catu daya tambahan seperti panel surya atau baterai berkapasitas besar. Penggunaan sumber daya alternatif seperti ini akan meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem, terutama saat digunakan di lokasi kolam yang jauh dari akses listrik.

REFERENSI

- [1] Sri Kusumastuti, "RANCANG BANGUN ALAT PENGKONDISI KOLAM BUDIDAYA IKAN," 2017.
- [2] KHOIRUNISA, "STUDI KASUS KESESUAIAN KUALITAS AIR KOLAM UNTUK BUDIDAYA IKAN NILA (*Oreochromis niloticus*) DI DESA MENGGORO KABUPATEN TEMANGGUNG JAWA TENGAH," 2022.
- [3] Supono, "Manajemen Lingkungan untuk Akuakultur," pp. 1–107, 2015.
- [4] E. Fitoremediasi Terhadap, I. Saputra, and T. Haja Almuqarramah, "Efektivitas Fitoremediasi Terhadap Kadar Amoniak Pada Air Limbah Budidaya Ikan Lele," 2021. [Online]. Available: www.jurnal.abulyatama.ac.id/tilapia
- [5] Badan Standardisasi Nasional, "Baku Mutu Air Kolam untuk Ikan Konsumsi." Accessed: May 09, 2025. [Online]. Available: <https://akses-sni.bsn.go.id/viewsni/baca/4016>
- [6] A. Fanariotis, T. Orphanoudakis, and V. Fotopoulos, "Reducing the Power Consumption of Edge Devices Supporting Ambient Intelligence Applications," *Information (Switzerland)*, vol. 15, no. 3, Mar. 2024, doi: 10.3390/info15030161.
- [7] S. Samsugi, Z. Mardiyansyah, and A. Nurkholis, "SISTEM PENGONTROL IRIGASI OTOMATIS MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ARDUINO UNO," 2020.
- [8] M. Dean Burhanudin, P. Diptya Widayaka, R. Roro, H. Peni, and A. Tjahyaningtjas, "Design And Development of a Pond Water Quality Monitoring Device Using the GSM SIM-800L Module," *Indonesian Journal of Electrical and Electronics Engineering (INAJEEE)*, vol. 7, no. 2, pp. 44–49, 2024, doi: 10.26740/inajeee.v7n2.
- [9] Djainuddin, Farniwati Fattah, and 4*, Muhammad Hattah Fattah a,5, Modawy Adam Ali Abdalla b,6 Muhammad Arfah AsisRamdan Satra a, "Monitoring oxygen levels of windu shrimp pond water using dissolved oxygen sensor based on wemos D1 R1," *Bulletin of Social Informatics Theory and Application*, vol. 3, no. 1, pp. 38–44, May 2019, doi: 10.31763/businta.v3i1.163.
- [10] J. Y. Lin, H. L. Tsai, and W. H. Lyu, "An integrated wireless multi-sensor system for monitoring the water quality of aquaculture," *Sensors*, vol. 21, no. 24, Dec. 2021, doi: 10.3390/s21248179.