



Development of an IoT-Integrated Smart Water Quality Monitoring Device to Enhance Fish Farming Sustainability

Cosmas Jerry Anggoro

Artikel ini telah dipresentasikan pada kegiatan Seminar Nasional Fisika (Sinafi XI)

Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

16 Agustus 2025

Abstract

A study has been conducted on the development of an Internet of Things (IoT)-based water quality monitoring device to support sustainability in freshwater fish farming. Water quality is a critical factor that affects fish health, growth, and productivity. Manual monitoring of water parameters is often inefficient and less responsive to environmental changes. To address this issue, an automated system was developed by integrating an ESP32 microcontroller with sensors for water temperature, pH, turbidity, and air humidity. Sensor data are transmitted in real-time via Wi-Fi and displayed on the Blynk application, allowing remote monitoring. The research methodology included hardware design and assembly, system programming, sensor integration, and functional testing in a semi-controlled environment. The test results showed that the system operates stably and provides accurate data. The recorded average pH was 7.25, water temperature ranged from 28–29°C, and turbidity was between 18–20 NTU, all of which fall within the optimal range for fish cultivation. This system demonstrates potential as an innovative solution for more efficient and data-driven aquaculture management. The implementation of this technology is expected to assist fish farmers in making timely and informed decisions based on real-time data.

Keywords: *IoT · Water quality · ESP32 · Blynk · Aquaculture Monitoring*

PENDAHULUAN

Budidaya ikan merupakan sektor strategis dalam mendukung ketahanan pangan dan ekonomi berbasis sumber daya perairan, khususnya di Indonesia. Kualitas air berperan langsung terhadap tingkat kelangsungan hidup, pertumbuhan, dan reproduksi ikan (Boyd & Tucker, 2012). Pemantauan kualitas air secara manual masih banyak digunakan, namun metode ini memerlukan waktu, tenaga, dan berisiko terlambat mendeteksi perubahan parameter penting (Putra et al., 2020).

Penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem pemantauan berbasis mikrokontroler, namun hanya terbatas pada suhu atau pH (Ramadhani et al., 2021). Penelitian lain sudah mengintegrasikan IoT untuk pemantauan kualitas air, tetapi penerapannya masih terbatas pada sistem berskala besar atau tidak mencakup multi-sensor (Wijaya et al., 2022). Penelitian penggunaan sistem berbasis mikrokontroler membantu mengukur parameter suhu dan pH secara otomatis telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan terdapat keterbatasan dalam aspek konektivitas data dan skalabilitas (Ramadhani et al., 2021). Penelitian lain telah mengintegrasikan sensor dengan Internet of Things (IoT) untuk pemantauan air, tetapi implementasinya masih jarang diterapkan pada konteks budidaya ikan skala kecil-menengah

✉ Cosmas Jerry Anggoro
Jerrycosmas016@gmail.com

SMA Taruna Nusantara. Kota Cimahi, Indonesia

How to Cite: Anggoro, C.J. (2025). Development of an IoT-Integrated Smart Water Quality Monitoring Device to Enhance Fish Farming Sustainability. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 4(1), 108-117. <https://proceedings.fisikaupi.id/index.php/sinafi/>

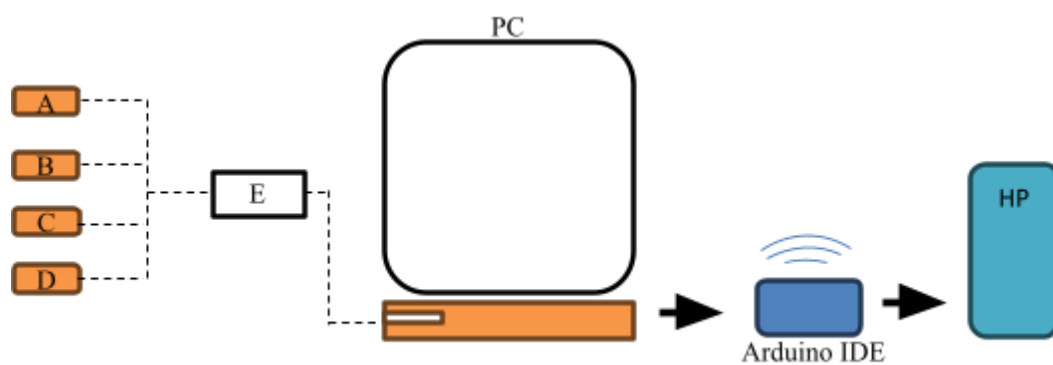
(Wijaya et al., 2022). Teknologi IoT memberikan peluang untuk melakukan pemantauan kualitas air secara real-time, terukur, dan efisien. Sistem berbasis IoT memungkinkan pengumpulan, penyimpanan, dan analisis data yang lebih cepat dan akurat (Zhang et al., 2020). Dengan demikian, petani ikan dapat mengambil keputusan secara responsif berdasarkan kondisi aktual di lapangan.

Penelitian ini menawarkan solusi dengan mengembangkan perangkat pemantauan multi-sensor berbasis IoT menggunakan ESP32. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi suhu, pH, kekeruhan, serta suhu dan kelembaban udara dalam satu sistem yang terhubung dengan aplikasi Blynk, serta difokuskan pada budidaya ikan skala kecil-menengah. Tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang dan mengimplementasikan perangkat pemantauan kualitas air berbasis IoT.
2. Menguji akurasi dan keandalan sistem dibandingkan dengan alat ukur konvensional.
3. Menunjukkan potensi sistem dalam mendukung praktik budidaya ikan yang berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji sistem pemantauan kualitas air berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dan beberapa sensor lingkungan. Pendekatan yang digunakan adalah research and development (R&D) dengan metode eksperimen kuantitatif, di mana parameter kualitas air (seperti suhu, pH, dan kekeruhan) diukur menggunakan sensor digital dan divalidasi terhadap alat ukur konvensional. Rangkaian sistem pemantauan air terdiri dari beberapa komponen utama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Susunan peralatan eksperimen. Sensor A (Turbidity Sensor SEN0189), B (Humidity DHT22), C (PH SEN061), dan D (Suhu DS18B20) dihubungkan dengan PC dengan mikrokontroler E (ESP32). Data kemudian dikirim secara nirkabel ke dasbor IoT untuk dipantau dan analisis secara real-time menggunakan perangkat HP.

Desain sistem:

1. Sensor :
 - a. Sensor A (Turbidity Sensor SEN0189) : Mengukur tingkat kekeruhan air (turbidity sensor).
 - b. Sensor B (PH SEN061): Mendeteksi tingkat keasaman atau kebasaan air.
 - c. Sensor C (DS18B20): Mengukur suhu air secara presisi.

- d. Sensor D (DHT22) : Mengukur suhu dan kelembaban udara di sekitar kolam.
2. Mikrokontroler: ESP32 dengan modul Wi-fi terintegrasi.
3. Perangkat lunak : Arduino IDE (pemrograman), BLink (visualisasi dashboard)

Gambar 1 memperlihatkan alur sistem: sensor-sensor (A-D) terhubung ke ESP32 (E), lalu dikirim ke PC untuk pemrograman melalui Arduino IDE, dan diteruskan secara nirkabel ke perangkat mobile (HP) untuk pemantauan kualitas air secara real-time. Keempat sensor dihubungkan ke modul mikrokontroler ESP32 (E) yang berperan sebagai pusat pengumpulan dan pengiriman data. Modul ESP32 diprogram menggunakan Arduino IDE, kemudian data dikirimkan secara nirkabel ke platform dashboard IoT yang dapat diakses melalui perangkat PC maupun HP (smartphone) untuk pemantauan jarak jauh secara real-time. Dalam gambar, alur komunikasi dimulai dari sensor ke ESP32, diteruskan ke PC untuk proses pengolahan, dan dikirimkan ke HP melalui konektivitas internet.

a) Perancangan sistem

Sistem terdiri atas mikrokontroler ESP32 dengan koneksi Wi-Fi, sensor suhu air (DS18B20), sensor pH (SEN0161), sensor kekeruhan (SEN0189), serta sensor suhu dan kelembaban udara (DHT22). Perangkat lunak yang digunakan adalah Arduino IDE untuk pemrograman dan Blynk untuk visualisasi data.

b) Integrasi dan pemrograman

Mikrokontroler diprogram untuk membaca data sensor, mengonversi nilai tegangan analog menjadi parameter fisis (pH, suhu, kekeruhan), lalu mengirimkannya ke dashboard IoT secara real-time menggunakan library:

- WiFi.h, BlynkSimpleEsp32.h untuk konektivitas IoT
- DHT.h untuk sensor suhu & kelembaban udara
- DallasTemperature.h & OneWire.h untuk sensor DS18B20
- DFRobot_ESP_PH_WITH_ADC.h untuk sensor pH

Algoritma utama sistem adalah:

- Inisialisasi koneksi Wi-Fi dan sensor
- Pembacaan data sensor tiap 5–10 detik menggunakan BlynkTimer
- Perhitungan nilai pH dari tegangan ADC dengan kompensasi suhu
- Perhitungan kekeruhan dari tegangan analog
- Pengiriman data ke Blynk dashboard dengan Blynk.virtualWrite() • Debugging melalui Serial Monitor untuk validasi data

```
// Pembacaan suhu air
waterTempSensor.requestTemperatures();

float tempWaterC = waterTempSensor.getTempCByIndex(0);

// Pembacaan pH

int rawPh = analogRead(PH_PIN); float
phVoltage = rawPh * 3.3 / 4095.0; float
phValue = 10.0 * phVoltage - 4.0;

// Pengiriman data ke Blynk Blynk.virtualWrite(V4,
tempWaterC); Blynk.virtualWrite(V5, phValue);
```

c) Pengumpulan Data

Data otomatis: direkam melalui ESP32 dan dikirim ke dashboard Blynk.

Data manual: diukur menggunakan alat ukur standar (pH meter, termometer, turbidimeter) untuk validasi.

d) Analisis Data

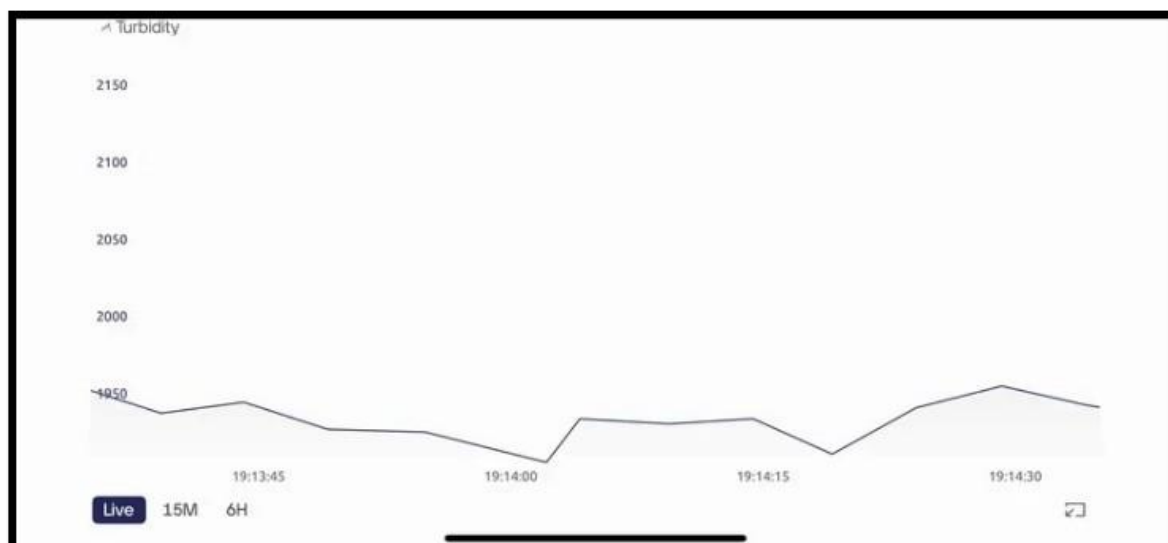
Data sensor dibandingkan dengan hasil manual untuk menghitung selisih (error) dan deviasi standar. Selain itu, dilakukan analisis kualitatif terkait keandalan sistem dan kemudahan penggunaan bagi pembudidaya ikan.

Analisis data dilakukan secara kuantitatif dengan menghitung selisih hasil sensor terhadap standar konvensional (nilai error dan deviasi), serta kualitatif untuk menilai kemudahan penggunaan dan efektivitas sistem.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berbasis ESP32 mampu merekam parameter suhu air, pH, kekeruhan, serta suhu dan kelembaban udara secara real-time. Data ditampilkan melalui dashboard Blynk dengan pembaruan setiap 5–10 detik sesuai interval pada pemrograman. Hal ini sejalan dengan algoritma dalam kode program yang menggunakan **BlynkTimer** untuk pemanggilan fungsi **readSensorsAndSend()** secara berkala.

Kelebihan utama sistem ini adalah pembacaan sensor yang stabil serta kecepatan dalam mengirimkan data ke dashboard, tanpa keterlambatan yang signifikan. Fungsi **Blynk.virtualWrite()** berperan penting dalam menyalurkan data dari ESP32 ke aplikasi mobile secara konsisten.



Gambar 2. Grafik fluktuasi nilai kekeruhan air (turbidity) dalam satuan NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

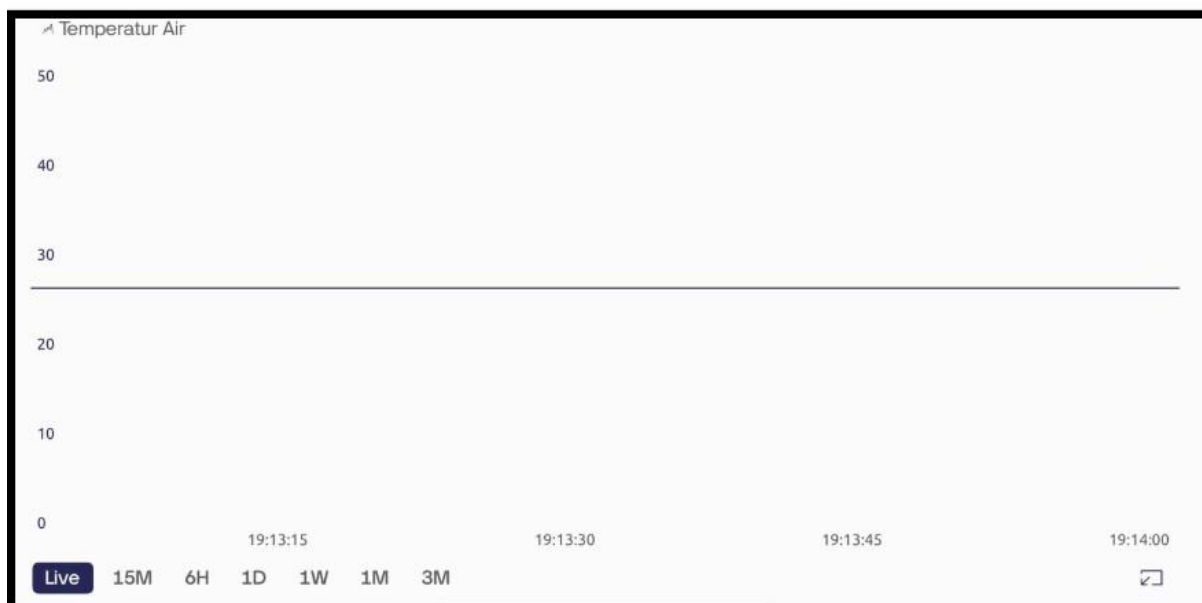
Gambar 2 di atas menampilkan grafik fluktuasi nilai kekeruhan air (turbidity) dalam satuan NTU (Nephelometric Turbidity Unit) yang terekam secara berkala oleh sistem pemantauan berbasis IoT. Warna garis yang digunakan dalam grafik adalah kuning, dengan rentang nilai kekeruhan berkisar antara 18 hingga 20 NTU. Hasil ini sesuai dengan algoritma pada kode berikut ini.

```
rawTurbidity = analogRead(TURBIDITY_PIN); turbidityVoltage =
rawTurbidity * 3.3 / 4095.0;
turbidity = ((1.75 - turbidityVoltage) / (2.20 - 1.75)) * 100.0;
```

Kode di atas mengonversi tegangan sensor menjadi nilai NTU. Fluktuasi kecil terjadi karena aktivitas ikan atau partikel tersuspensi. Data ini menegaskan bahwa perangkat mampu mendeteksi perubahan kualitas air dengan sensitivitas yang baik.

Nilai rata-rata kekeruhan yang tercatat adalah 19 NTU, yang menunjukkan bahwa kondisi air selama periode pengamatan berada dalam keadaan relatif stabil. Meskipun terdapat sedikit fluktuasi dari waktu ke waktu, perubahan tersebut tergolong kecil dan masih berada dalam batas normal untuk lingkungan akuakultur yang sehat. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem sensor kekeruhan yang digunakan bekerja secara konsisten dan responsif dalam menangkap perubahan kecil pada kualitas air. Stabilitas nilai kekeruhan juga mengindikasikan bahwa selama masa pengujian tidak terjadi pencemaran atau gangguan fisik yang signifikan terhadap lingkungan perairan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sistem pemantauan kekeruhan air yang dikembangkan mampu memberikan data yang akurat dan dapat diandalkan dalam memantau kondisi air secara real-time, serta memiliki potensi aplikatif dalam manajemen kualitas air kolam ikan atau akuarium secara efisien.



Gambar. 3 Grafik tren suhu air yang diukur secara real-time menggunakan sensor suhu digital yang terintegrasi dalam sistem pemantauan berbasis IoT.

Grafik di atas menunjukkan tren suhu air yang diukur secara real-time menggunakan sensor suhu digital yang terintegrasi dalam sistem pemantauan berbasis IoT. Garis berwarna biru merepresentasikan data suhu yang dikumpulkan selama periode observasi. Rentang nilai suhu yang tercatat berada antara 26 hingga 27 °C, dengan rata-rata suhu sebesar 26,3 °C. Grafik memperlihatkan bahwa suhu air cenderung stabil tanpa adanya fluktuasi yang signifikan sepanjang waktu pengamatan. Stabilitas suhu air ini merupakan indikator penting bagi ekosistem akuakultur, mengingat banyak spesies ikan memerlukan kondisi termal yang konstan untuk menjaga metabolisme, pertumbuhan, dan kesehatan secara umum. Nilai suhu tersebut juga berada dalam kisaran yang ideal bagi berbagai jenis ikan air tawar, seperti nila atau lele. Dari sisi performa alat, kestabilan grafik ini menunjukkan bahwa sensor DS18B20 yang digunakan memiliki akurasi yang baik dan mampu merekam data secara konsisten. Pengiriman data melalui jaringan IoT juga berlangsung lancar tanpa jeda atau gangguan sinyal.

Pengukuran kelembaban dan suhu udara menggunakan DHT22 memberikan data rata-rata 85,8% RH dan 27,5 °C. Sesuai pemrograman, nilai ini ditampilkan di Virtual Pin V1 dan V2. Data yang stabil menunjukkan bahwa sensor berfungsi baik dan sinkron dengan kondisi lingkungan sekitar kolam.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sistem pemantauan suhu air ini berfungsi dengan efektif dan andal, serta memiliki potensi yang tinggi untuk diimplementasikan pada praktik budidaya ikan yang memerlukan kontrol suhu yang presisi.

Hasil pengukuran suhu dan kekeruhan air yang dilakukan menggunakan sensor DHT22 (untuk suhu) dan SEN0189 (untuk kekeruhan) pada rentang waktu antara pukul 19:13:15 hingga 19:14:15 ditunjukkan pada tabel 1 berikut.

Tabel. 1 Temperatur (0C) dan kekeruhan Air (NTU)

No.	Jam	Menggunakan DHT22	
		Temperature (°C)	Kekeruhan Air (NTU)
1.	19'13'15"	26,3	19
2.	19'13'30"	26,5	22
3.	19'13'45"	26,4	17
4.	19'14'00"	26,7	21
5.	19'14'15"	26,9	17

Selama periode pengamatan, nilai suhu berkisar antara 26,3 °C hingga 26,9 °C, sementara kekeruhan air (NTU) menunjukkan fluktuasi antara 17 NTU hingga 22 NTU. Nilai kekeruhan tertinggi tercatat sebesar 22 NTU pada suhu 26,5 °C, sedangkan nilai terendah sebesar 17 NTU tercatat pada suhu 26,4 °C dan 26,9 °C.

Meskipun terdapat sedikit fluktuasi, perubahan suhu tampaknya tidak secara langsung mempengaruhi nilai kekeruhan secara signifikan dalam rentang waktu yang diamati. Hal ini menunjukkan bahwa faktor-faktor lain, seperti pergerakan air, aktivitas ikan, atau partikel tersuspensi, mungkin memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap perubahan kekeruhan dibandingkan dengan suhu.

Secara umum, stabilitas suhu dan rentang kekeruhan yang relatif rendah (sekitar 17–22 NTU) mengindikasikan bahwa kondisi air cukup baik dan tidak terjadi peningkatan signifikan dalam pencemaran atau gangguan lingkungan mikro dalam kolam atau akuarium yang diuji.

Dari sisi kinerja sistem, data menunjukkan bahwa alat mampu merekam data secara akurat dan konsisten, dengan perbedaan waktu pengukuran yang teratur, yang mendukung efektivitas sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT ini.

Hasil pengukuran menggunakan sensor pH (SEN0161) menunjukkan bahwa nilai rata-rata pH air yang tercatat adalah 7,25. Rata-rata pH yang tercatat adalah 7,25, yang termasuk netral dan sesuai untuk ikan air tawar. Persamaan yang digunakan pada kode program adalah:

```
rawPh = analogRead(PH_PIN);
phVoltage = rawPh * 3.3 / 4095.0;
phValue = 10.0 * phVoltage - 4.0;
```

Meski persamaan ini bersifat sederhana (belum menggunakan kalibrasi otomatis), hasil perbandingan dengan alat ukur manual menunjukkan deviasi yang rendah (<0,2). Hal ini menandakan sensor pH bekerja cukup akurat untuk aplikasi budidaya ikan skala kecil-menengah.

Nilai ini berada dalam kisaran netral (pH 7), dengan sedikit kecenderungan ke arah basa lemah, namun masih tergolong ideal dan aman untuk sebagian besar jenis ikan air tawar maupun akuarium.

Nilai pH yang stabil pada kisaran ini mengindikasikan bahwa:

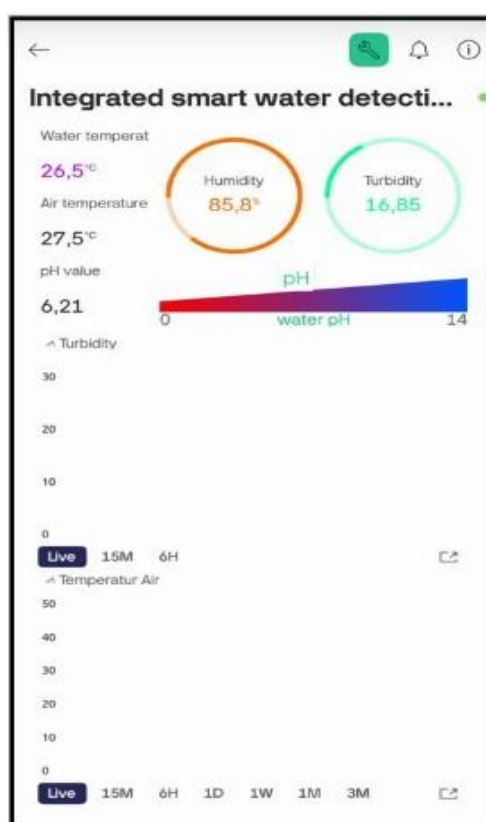
- Kondisi kimia air dalam kolam atau akuarium relatif seimbang, tidak terlalu asam (pH < 7) maupun terlalu basa (pH > 8).

- Kinerja sensor pH cukup akurat dan konsisten, terutama jika dibandingkan dengan alat ukur pH konvensional (sebagai pembanding).

- Kualitas air berada pada zona optimal untuk aktivitas biologis, seperti respirasi ikan, pertumbuhan mikroorganisme bermanfaat, dan kestabilan senyawa kimia terlarut.

Dalam konteks akuakultur atau sistem budidaya ikan, stabilitas pH menjadi parameter krusial karena fluktuasi tajam dapat menyebabkan stres fisiologis pada ikan atau bahkan kematian. Oleh karena itu, kemampuan alat untuk memantau pH secara real-time dan akurat menjadi keunggulan yang penting untuk menjaga keberlanjutan dan efisiensi sistem perairan.

Dengan nilai rata-rata pH yang menunjukkan kondisi ideal dan konsisten, dapat disimpulkan bahwa perangkat pemantauan kualitas air berbasis IoT ini memiliki keandalan yang tinggi dalam mendeteksi parameter pH secara tepat.



Gambar 4. Sistem pemantauan berbasis ESP32 dan sensor DHT22, DS18B20, SEN0189, dan SEN0161.

Gambar ini menunjukkan bahwa sistem pemantauan berbasis ESP32 dan sensor-sensor seperti DHT22, DS18B20, SEN0189, dan SEN0161 telah berhasil menampilkan data kualitas air secara komprehensif, real-time, dan mudah dibaca melalui antarmuka dashboard. Ini memberikan keuntungan dalam pemeliharaan kualitas lingkungan air secara cepat dan akurat. Dashboard sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT menampilkan berbagai parameter lingkungan secara real-time, memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi fisik dan kimia air. Suhu air tercatat sebesar 26,5°C, yang berada dalam rentang ideal untuk sebagian besar ikan air tawar. Sementara itu, suhu udara di sekitar sistem terpantau sebesar 27,5°C, sedikit lebih tinggi namun masih dalam batas normal. Kelembaban udara yang tercatat sebesar 85,8% menunjukkan kondisi lingkungan yang lembab, sesuai dengan lokasi sistem yang berada di sekitar kolam atau ruang tertutup.

Selain parameter suhu dan kelembaban, dashboard juga menampilkan nilai pH air sebesar 6,21. Nilai ini menunjukkan bahwa air cenderung sedikit asam, namun masih dapat diterima untuk beberapa spesies ikan. Nilai ini juga divisualisasikan melalui skala warna yang menunjukkan zona keasaman hingga kebasaaan, memudahkan pengguna dalam memahami kondisi pH secara intuitif.

Tingkat kekeruhan air ditunjukkan sebesar 16,85 NTU, yang mengindikasikan bahwa air berada dalam kondisi cukup jernih dan tidak mengandung banyak partikel tersuspensi. Dua grafik pendukung turut ditampilkan pada bagian bawah antarmuka, masing-masing untuk memantau fluktuasi suhu air dan kekeruhan dalam rentang waktu yang dapat disesuaikan (Live, 15 menit, 6 jam, 1 hari, hingga 3 bulan). Seluruh tampilan ini memperlihatkan bahwa sistem pemantauan berbasis mikrokontroler ESP32 ini telah berhasil menyediakan data yang komprehensif, stabil, dan mudah diakses untuk mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan kualitas air kolam secara efisien dan berkelanjutan.

SIMPULAN

Sistem pemantauan kualitas air berbasis ESP32 dan IoT berhasil dikembangkan dengan integrasi sensor suhu, pH, kekeruhan, serta suhu dan kelembaban udara. Hasil pengujian menunjukkan seluruh parameter berada pada rentang ideal untuk budidaya ikan air tawar, dengan akurasi tinggi saat dibandingkan dengan alat ukur manual.

Perangkat ini menawarkan kebaruan berupa multi-sensor real-time monitoring yang sederhana dan terjangkau untuk skala budidaya ikan kecil-menengah. Sistem ini berpotensi membantu pembudidaya mengambil keputusan cepat berbasis data, sehingga mendukung budidaya yang efisien dan berkelanjutan

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. H., Yanis, N. I. M., Irawan, M. N. N., Munadi, R., & Fitriyanti, N. (2023). Water Quality Monitoring and Control System in Koi Fish Cultivation Based on Internet-of-Things (IoT). *Jurnal Rekayasa Elektrika*.
mdpi.com+8jurnal.usk.ac.id+8journal.ugm.ac.id+8
- Rosandi, D., Junaidi, J., Apriyanto, D. K., & Surtono, A. (2023). Design of Water Quality Monitoring System for Koi Fish Farming Using NodeMCU ESP32 and Blynk Application. *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*. journal.ugm.ac.id
- Zhou, Y. H., Wang, J., & Liu, Z. (2020). An IoT-based real-time monitoring system for aquaculture environment. *Sensors*, 20(20).
- Dhinakaran, D., Gopalakrishnan, S., Manigandan, M. D., & Anish, T. P. (2023). IoT-Based Environmental Control System for Fish Farms with Sensor Integration and Machine Learning. *arXiv*.
journal.usk.ac.id+3arxiv.org+3mdpi.com+3
- Hu, A., & Ahmed, M. S. (2024). An integrated smart pond water quality monitoring and fish farming recommendation system. *Sensors*, 24(11), 3682. journal.usk.ac.id
- Anton, P., Septiarini, A., Puspitasari, N., Taruk, M., & Mahendra, D. A. (2024). IoT-based Water Quality Control in Tilapia Aquaculture Using Fuzzy Logic. *Innovatics*. jurnal.unsil.ac.id
- Hossam, R., Heakl, A., & Gomaa, W. (2024). Precision Aquaculture: An Integrated Computer Vision and IoT Approach. *arXiv*. arxiv.org
- Khan, H. F. H., & Hazwan, M. A. (2022). Development of IoT Monitoring System For Aquaculture Application. *GECOST 2022*. journal.umy.ac.id

- Suwardono, A., Prahesti, F. E., Indrawati, E. M., & Ashofa, M. A. J. (2023). IoT Based Catfish Farm Monitoring with ESP32 Microcontroller and DS18B20 Sensor. *Jurnal Sains dan Teknologi*. ejournal.undiksha.ac.id+1journal.umy.ac.id+1
- Perumal, T., Sulaiman, M. N., & Leong, C. Y. (2015). Internet of Things enabled water monitoring system. *IEEE GCCE*. jiemar.org
- Taufik, M. N. E., Sulistiyowati, I., Syahririni, S., & Anshory, I. (2023). Designing a Monitoring System and Optimizing Water Quality in Tilapia Farming Ponds in Phokecik Hamlet Using Ubidots. *BISTE*. journal2.uad.ac.id
- Chuyen, T. D., Nguyen, D. D., & Cuong, N. C. (2023). Design and manufacture control system for water quality based on IoT technology for aquaculture in Vietnam. *BEI Journal*. journal.umy.ac.id
- Alam, T. J., Hayder, A. A. S. B., Apu, A. F., Al Banna, M. H., & Rahman, M. S. (2022). IoT Based Biofloc Aquaculture Monitoring System. *TCCE 2022*. journal.umy.ac.id+1link.springer.com+1
- Kanagachidambaresan, G. (2022). IoT-Based Shrimp Farming. In *IoT Using Single Board Computers*. journal.umy.ac.id
- Boccardo, P., Daniele, V., Di Gennaro, P., Lofù, D., & Tedeschi, P. (2020). Water Quality Prediction on a Sigfox-compliant IoT Device. *arXiv*. arxiv.org
- Zhang, T., Shen, T., Yuan, K., Xue, K., & Qian, H. (2022). A Novel Autonomous Robotics System for Aquaculture Environment Monitoring. *arXiv*. arxiv.org
- MDPI. (2024). Optimal IoT-Driven Intelligent Decision-Making System for Real-Time Fishpond Water Quality Monitoring. *Sensors*, 24(23), 7842. mdpi.com
- MDPI. (2024). Intelligent Prediction and Continuous Monitoring of Water Quality in Aquaculture. *Water*. mdpi.com
- MDPI. (2023). Integrating AIoT Technologies in Aquaculture: A Systematic Review. *Future Internet*, 17(5), 199. mdpi.com
- Elrinolla, L. C., Alamsyah, K. W. M., Jerandu, C. Y., & Suyoto. (2024). Utilization of IoT in Water Quality Monitoring for Sustainable Fish Farming: A Systematic Review. *Bitnet*. journal.umpr.ac.id
- Rosandi, D., et al. (2023). Design and Research of Aquaculture Monitoring Equipment Based on IoTs. *IoTCIT 2022 Proceedings*. link.springer.com
- Perumal, T., & Sulaiman, M. N. (2015). Internet of Things (IoT) enabled water monitoring system. *IEEE GCCE*. mdpi.com+2jiemar.org+2journal.umy.ac.id+2
- Putra, A., Nugroho, A., & Prasetyo, D. (2020). Sistem pemantauan kualitas air berbasis mikrokontroler untuk budidaya ikan air tawar. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 8(2), 75–82.
- Khan, H. F. H., & Hazwan, M. A. (2022). IoT Monitoring for Aquaculture. *GECOST*. journal.umy.ac.id
- Hossam, R., et al. (2024). Precision Aquaculture. *arXiv*. arxiv.org