

# RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI PH OTOMATIS PADA KOLAM BUDIDAYA IKAN NILA

Christio Revano Mege, Stevy Canny Louhenapessy, Vera Khoirunisa,  
Astuti BP Simanulang, Septia Eka Marsha Putra \*

Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia  
Email: christio.mege@tf.itera.ac.id, stevy.louhenapessy@staff.itera.ac.id, vera.khoirunisa@tf.itera.ac.id,  
astuti.120320040@student.itera.ac.id, septia.marsha@tf.itera.ac.id\*

## Info Artikel

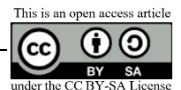
Histori Artikel:  
Diterima Agu 31, 2024  
Direvisi Sep 17, 2024  
Disetujui Sep 30, 2024



## ABSTRACT

Water quality is one of the important factors in increasing the success of aquaculture production, in addition to disease factors and fish seed quality. Water quality in aquaculture ponds greatly affects the growth, survival, and production of tilapia. Several factors that affect water quality include acidity level (pH). The maximum pH value ranges from 6.5 to 8.5. This study aims to design an automatic water pH control system in Tilapia ponds. The water quality control system in fishponds is often done manually, which makes it less efficient. The system is designed by combining a pH sensor pump and solenoid valves using an ESP32 microcontroller. When the pH sensor detects a pH value of less than 6.5 or more than 8.5, the system will automatically change the water. The test results in the pond showed that the system was able to respond with the respective rise time and settling time values, namely 1240s and 1380s. Based on these results, it can be concluded that the built pH control system can function according to the design.

**Keywords:** Tilapia, pH control, automation, system response



## ABSTRAK

Kualitas air merupakan salah satu faktor penting untuk meningkatkan keberhasilan produksi budidaya ikan selain faktor penyakit dan kualitas benih ikan. Kualitas air dalam kolam budidaya ikan sangat mempengaruhi pertumbuhan, kelangsungan hidup, dan produksi ikan nila. Beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas air yaitu nilai derajat keasaman (pH). Batas maksimum nilai pH berkisar 6,5 sampai 8,5. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pengendali pH air otomatis pada kolam ikan nila. Sistem pengendalian kualitas air pada kolam ikan sering kali dilakukan secara manual sehingga kurang efisien. Sistem dirancang dengan menggabungkan sensor pH, pompa dan solenoid valve menggunakan mikrokontroler ESP32. Ketika sensor pH mendeteksi nilai pH kurang dari 6,5 atau lebih dari 8,5 maka secara otomatis sistem akan melakukan pergantian air. Hasil pengujian pada kolam menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan respons dengan nilai rise time dan settling time masing-masing yaitu 1240 detik dan 1380 detik. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem pengendali pH yang dibuat berfungsi sesuai dengan rancangan.

**Kata Kunci:** Tilapia, kendali pH, otomasi, respons sistem

## Penulis Korespondensi:

Septia Eka Marsha Putra  
Program Studi Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri,  
Institut Teknologi Sumatera,  
Jalan Terusan Ryacudu, Lampung Selatan  
septia.marsha@tf.itera.ac.id



## 1. PENDAHULUAN

Permintaan pangan dalam beberapa dekade mendatang diperkirakan akan meningkat pesat, sementara lahan pertanian mengalami degradasi akibat perubahan iklim dan praktik pertanian yang tidak berkelanjutan [1]. Selain itu, permintaan global terhadap produk akuatik terus meningkat, dan diperkirakan akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya populasi dunia [2]. Hal tersebut menjadikan akuakultur tumbuh dengan cepat di sektor pangan hewani, melampaui penangkapan ikan di penangkaran dan diakui sebagai pasokan pangan alternatif, efisien dan berkelanjutan [3].

Akuaponik dan akuakultur semakin mendapat perhatian di zaman modern, dan hal ini memperkuat dampaknya yang semakin besar terhadap masyarakat sebagai respons inovatif terhadap ketahanan pangan [4]. Kemajuan teknologi di bidang pertanian telah membuka jalan bagi praktik pertanian modern seperti akuaponik, yaitu sistem budidaya ikan dan tanaman ramah lingkungan tanpa tanah [5,6]. Akuaponik adalah sistem simbiosis yang menggabungkan akuakultur dengan hidroponik pada budidaya ikan dan tanaman untuk menghemat air dan memanfaatkan nutrisi terlarut secara lebih efisien, tanpa menggunakan bahan kimia pertanian [7,8]. Kemajuan ini juga membuka era baru bagi perancangan dan pengembangan sistem pemantauan kesehatan ikan dan tanaman [9]. Menurut data Kementerian Kelautan dan Perikanan RI angka konsumsi ikan nasional meningkat dari tahun 2021 ke tahun 2022 yaitu 55,16 kg per kapita menjadi 57,27 kg per kapita [10]. Untuk memenuhi target produksi ikan yang sesuai dengan kebutuhan konsumsi ikan nasional, budidaya ikan dapat menjadi salah satu metode pilihan. Jenis ikan air tawar yang dapat di budidaya adalah ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Ikan nila memiliki nilai ekonomis tinggi, pertumbuhan cepat dan rasa dagingnya yang lezat [11].

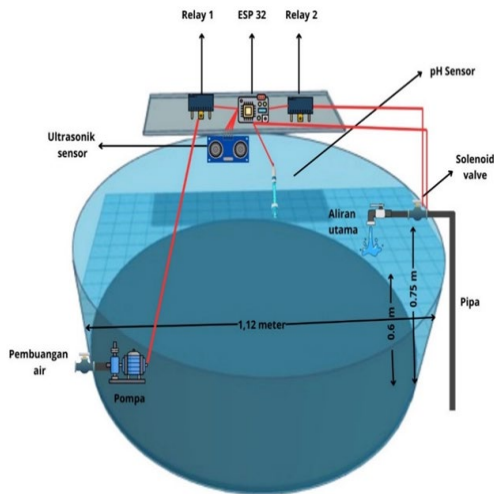
Amonia terlarut adalah salah satu sifat fisik yang penting untuk dipantau dalam budidaya perikanan. Kandungan amonia terlarut memiliki pengaruh besar pada kesehatan dan pertumbuhan ikan dalam kolam secara keseluruhan karena sangat beracun [12,13]. Amonia bisa teroksidasi menjadi nitrit oleh bakteri nitrit, dan dengan cepat terlarut ke dalam air kolam, mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan ikan, dan menyebabkan kematian skala besar [14]. Peningkatan amonia berbanding lurus dengan kenaikan nilai pH pada kolam budidaya sehingga pH kolam menjadi basa pada kisaran 9 -11.

Garcia dkk, mengusulkan suatu sistem pemantauan kualitas air pada budidaya ikan Bandeng di mana sistem dapat mendeteksi nilai ambang batas pH, oksigen terlarut, suhu, amonia, dan tingkat kekeruhan [15]. Penelitian serupa tentang pemantauan kualitas air berbasis IoT dan *machine learning* juga dilakukan untuk memprediksi ketahanan hidup ikan air tawar [16] dan meningkatkan produksi budidaya [17]. Ketiga penelitian ini telah berhasil merancang sistem pemantauan yang efektif tetapi belum sampai kepada pengendalian kualitas air kolam ikan.

Pengendalian pH telah dilakukan pada hidroponik berdasarkan logika *Fuzzy* [18], *Deep Flow Technique* [19] dan berbasis IoT menggunakan aplikasi Blynk [20]. Namun perubahan pH pada sistem hidroponik berbeda dengan perubahan pH pada sistem akuakultur karena ikan dan sisa pakan menghasilkan amonia yang dapat meningkatkan nilai pH menjadi cukup tinggi. Rancang bangun sistem pengendali pH dilakukan pada kolam budidaya ikan lele menggunakan metode titrasi *buffer* asam dan basa untuk menjaga nilai pH pada *setpoint* yang ditentukan [21]. Namun penggunaan zat kimia tambahan dapat mempengaruhi kesehatan ikan. Oleh sebab itu dalam penelitian ini dibuat suatu sistem pengendalian pH air otomatis pada kolam ikan nila sehingga terjadi pergantian air ketika nilai pH melebihi kadar yang aman yaitu 6-8,5 [22].

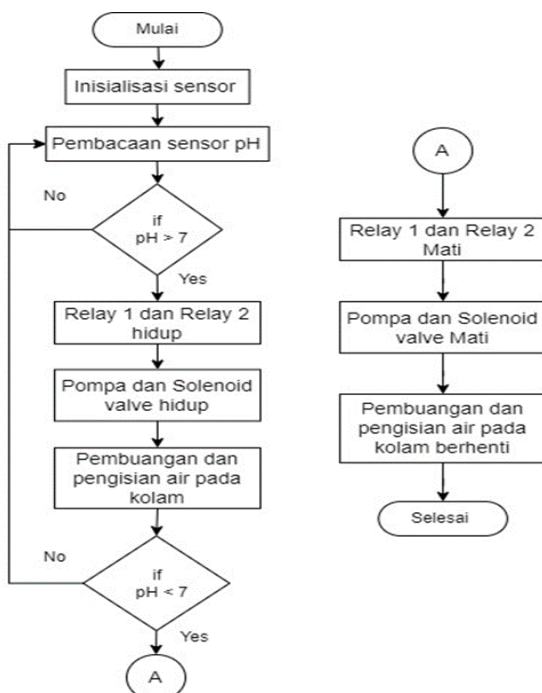
## 2. METODE PENELITIAN

Perancangan sistem pada penelitian ini ada dua bagian yaitu perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras merupakan proses pembuatan kolam ikan dan perakitan semua komponen yang digunakan. Perancangan perangkat lunak merupakan pemrograman pada software Arduino IDE yang nantinya dihubungkan ke komponen supaya dapat berfungsi secara otomatis. Alur kerja sistem memiliki tiga tahapan yaitu input, proses dan output. [Gambar 1](#) merupakan rancangan kolam budidaya ikan nila pada penelitian ini. Kolam budidaya ikan dirancang dalam bentuk tabung dengan diameter 1,2 m dan kedalaman air 0,6 m. Kapasitas air kolam yang digunakan 590 L. Rata-rata padat tebar ikan nila yang dibudidayakan adalah 50 ekor/ m<sup>2</sup>. Terdapat sensor pH untuk mengukur keasaman air dan sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air. Pompa digunakan untuk memompa air untuk pembuangan air. Sedangkan *solenoid valve* berfungsi untuk menutup dan membuka katup dari keran utama.



Gambar 1 Skematik Penerapan Sistem pada Kolam

Tahap selanjutnya yaitu menguji coba kinerja dari sistem pengendalian pH air yang dirancang. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan sistem dapat merespons perubahan nilai pH pada kolam serta ketinggian air berdasarkan pembacaan sensor sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian alat ini didasarkan pada kemampuan pompa (on atau off) berdasarkan pembacaan sensor pH. Adapun kriteria yang diuji yaitu pengoperasian pompa dan solenoid sesuai dengan *setpoint* yang ditentukan, serta waktu respons sistem seperti *settling time* dan *rise time*. Sistem dapat dikatakan berfungsi apabila sistem mampu menurunkan nilai pH yang melebihi batas ( $pH > 8,5$ ) ke nilai *setpoint* yang ditentukan yaitu pH 7. Sistem berjalan dengan baik apabila mendapatkan nilai *settling time* yang semakin singkat [23]. Gambar 2 berikut menunjukkan alur kerja dari sistem pengendali pH.



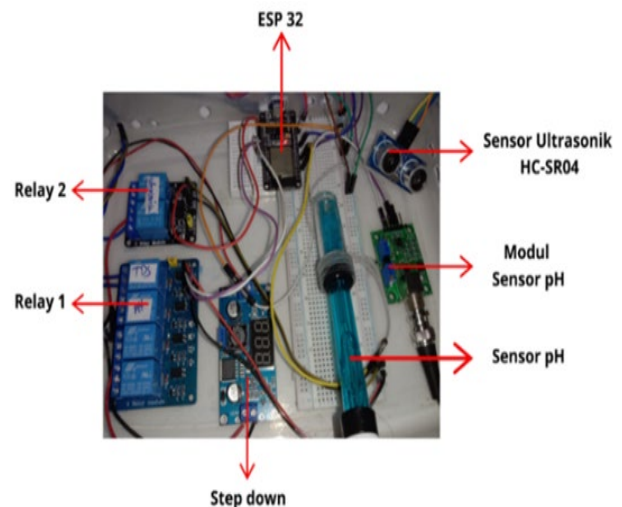
Gambar 2 Alur Kerja Sistem Pengendali pH

Proses dimulai dari tahap inialisasi sensor yaitu tahap persiapan awal sensor. Selanjutnya sensor pH melakukan pembacaan tingkat keasaman kolam ikan dan sistem memeriksa apakah nilai pH berada pada batas ambang yang ditentukan yaitu pH netral 7. Pada saat sensor pH membaca tingkat keasaman air lebih dari 7 maka relay 1 dan relay 2 akan hidup. Pompa dan *solenoid valve* akan menyala secara bersamaan. Pompa akan memompa air dari kolam ke luar untuk menguras air kolam dan di saat bersamaan *solenoid valve* terbuka untuk melakukan pengisian air dari keran utama. Pergantian air akan terus berlangsung hingga nilai pH yang diharapkan tercapai. Ketika sensor pH membaca tingkat keasaman air kurang dari 7 maka relay 1 dan relay 2 akan otomatis mati sehingga pompa akan mati dan *solenoid valve* tertutup.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Penelitian

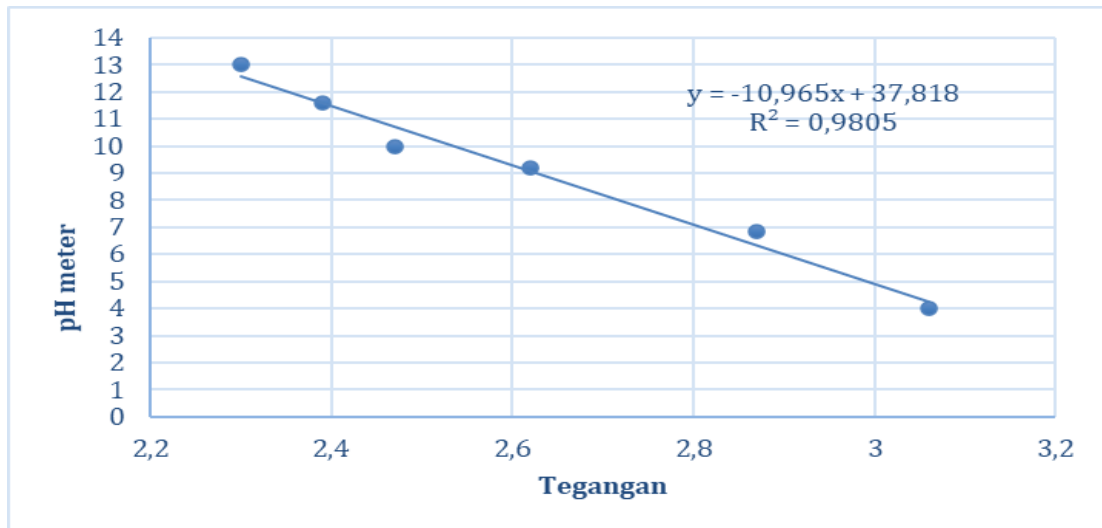
Rangkaian elektronik seperti terlihat pada Gambar 3 yang digunakan pada sistem pengendali pH air kolam ikan ini terdiri dari beberapa komponen utama Seperti ESP32, sensor pH dan sensor HC-SR04. ESP32 Devkit berfungsi sebagai pusat pengendali seluruh sistem, menerima dan memproses data dari sensor untuk mengontrol *solenoid valve* dan pompa. Sensor pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman air, sedangkan sensor HC-SR04 berfungsi untuk mengukur ketinggian air kolam. *Step-down converter* berfungsi menurunkan tegangan dari adaptor agar kompatibel dengan ESP32. Sistem ini juga mencakup dua relay. Relay 1 digunakan untuk membuka dan menutup *solenoid valve* pada keran air utama, Relay 2 digunakan untuk menghidupkan dan mematikan pompa pada proses pergantian air berdasarkan pembacaan sensor pH.



Gambar 3 Rangkaian Sistem Pengendali pH

Kalibrasi sensor pH ini dilakukan dengan menggunakan pH meter sebagai *calibrator*. Jumlah variasi pH yang digunakan sebanyak 6 variasi dan jumlah pengulangan 30 kali dari masing-masing sampelnya. Data kalibrasi tersebut dibuat dalam bentuk grafik untuk memperoleh persamaan garis linear yang menggambarkan hubungan antara pH meter dengan sensor pH. Hasil grafik kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan grafik tersebut didapatkan, *trendline* yang didapatkan antara sensor pH dan pH meter dapat dipresentasikan oleh

persamaan  $y = -10,965x + 37,818$  dengan nilai koefisien determinasi  $R^2$  sebesar 0,9805. Nilai koefisien determinasi menunjukkan bahwa persamaan dapat merepresentasikan data dengan baik. Semakin dekat nilai  $R^2$  dengan 1 maka dapat ditarik kesimpulan bahwa persamaan yang diperoleh semakin valid untuk digunakan. Persamaan tersebut memiliki kesesuaian yang mencapai 99% dengan data yang sebenarnya, sehingga persamaan tersebut bisa digunakan untuk mengukur pH air.



Gambar 4 Kalibrasi Sensor pH

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian sensor pH yang telah dikalibrasi. Tingkat galat terendah pada sensor pH yaitu 0 % pada pengukuran pH 9,18 sedangkan tingkat galat tertinggi sebesar 6 % pada pengukuran pH 4,01. Tingkat akurasi yang

diperoleh pada sensor pH mencapai 98,02 % dan tingkat presisi sensor mencapai 99,48 %. Hal ini menunjukkan bahwa sensor pH dapat memberikan pembacaan yang cukup stabil dan konsisten meskipun melakukan 30 kali pengukuran berulang.

Tabel 1 Hasil Pengujian Sensor pH

No	Variasi pH meter	Rata-rata Hasil Kalibrasi Sensor	Standar Deviasi	% Galat
1	4,01	4,24	1,99	6%
2	6,86	6,67	2,25	3%
3	9,18	9,19	0,03	0%
4	10	10,21	0,05	2%
5	11,6	11,59	0,08	0%
6	13	12,86	0,04	1%
Persentase Akurasi				98,02%
Presisi				99,48%

Selanjutnya hasil Pengujian pompa dilakukan untuk memastikan pompa mampu menyala dan mati secara otomatis menggunakan relay. Relay berfungsi sebagai saklar otomatis yang dikendalikan oleh sinyal sensor pH sesuai dengan

kondisi pH air. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian pompa di mana kondisi pompa dan sudah berjalan sesuai dengan rancangan awal yaitu pompa menyala untuk menguras air ketika nilai pH diatas 7.

**Tabel 2** Hasil Pengujian Pompa

No	Sensor pH	Relay 1	Kondisi Pompa	Keterangan
1	4,01	Mati	OFF (0)	Sesuai
2	5,14	Mati	OFF (0)	Sesuai
3	5,67	Mati	OFF (0)	Sesuai
4	6	Mati	OFF (0)	Sesuai
5	6,5	Mati	OFF (0)	Sesuai
6	6,8	Mati	OFF (0)	Sesuai
7	7,01	Hidup	ON (1)	Sesuai
8	7,25	Hidup	ON (1)	Sesuai
9	7,7	Hidup	ON (1)	Sesuai
10	8	Hidup	ON (1)	Sesuai
11	8,5	Hidup	ON (1)	Sesuai
12	8,8	Hidup	ON (1)	Sesuai
13	9,18	Hidup	ON (1)	Sesuai
14	10,01	Hidup	ON (1)	Sesuai
15	11,35	Hidup	ON (1)	Sesuai

Pengujian *solenoid valve* dilakukan untuk memastikan bahwa *valve* mampu membuka dan menutup katup secara otomatis dengan memanfaatkan relay sebagai saklar otomatis. Relay ini dikendalikan oleh sinyal dari sensor pH yang berfungsi sesuai dengan kondisi pH air yang terukur. Ketika pembacaan sensor pH menunjukkan

nilai yang tidak sesuai dengan yang diharapkan, ini akan memicu aliran air dari keran utama ke kolam. [Tabel 3](#) menunjukkan bahwa *solenoid valve* mampu membuka dan menutup *valve* dengan tepat sesuai dengan logika yang telah diterapkan, sehingga memastikan pengaturan kualitas air dalam kolam berjalan efektif dan efisien..

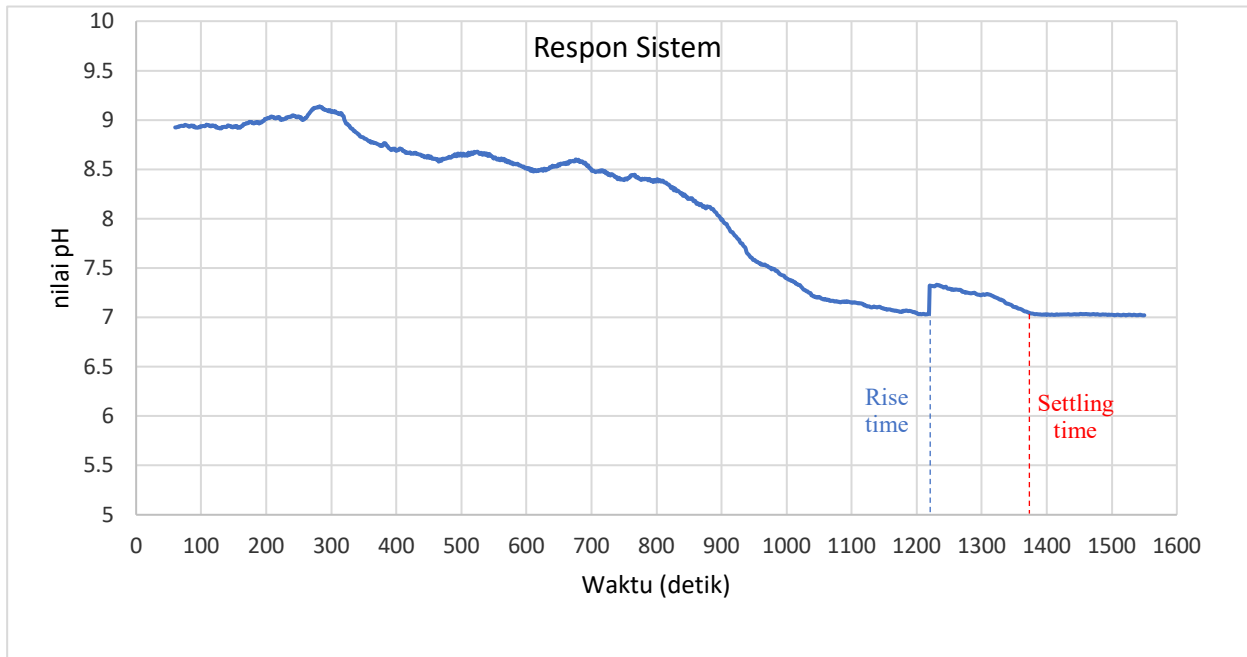
**Tabel 3** Hasil Pengujian Solenoid Valve

No	Sensor pH	Relay 2	Kondisi Solenoid Valve	Keterangan
1	4,01	Mati	Closed	Sesuai
2	5,14	Mati	Closed	Sesuai
3	5,67	Mati	Closed	Sesuai
4	6	Mati	Closed	Sesuai
5	6,5	Mati	Closed	Sesuai
6	6,8	Mati	Closed	Sesuai
7	7,01	Hidup	Open	Sesuai
8	7,25	Hidup	Open	Sesuai
9	7,7	Hidup	Open	Sesuai
10	8	Hidup	Open	Sesuai
11	8,5	Hidup	Open	Sesuai
12	8,8	Hidup	Open	Sesuai
13	9,18	Hidup	Open	Sesuai
14	10,01	Hidup	Open	Sesuai
15	11,35	Hidup	Open	Sesuai

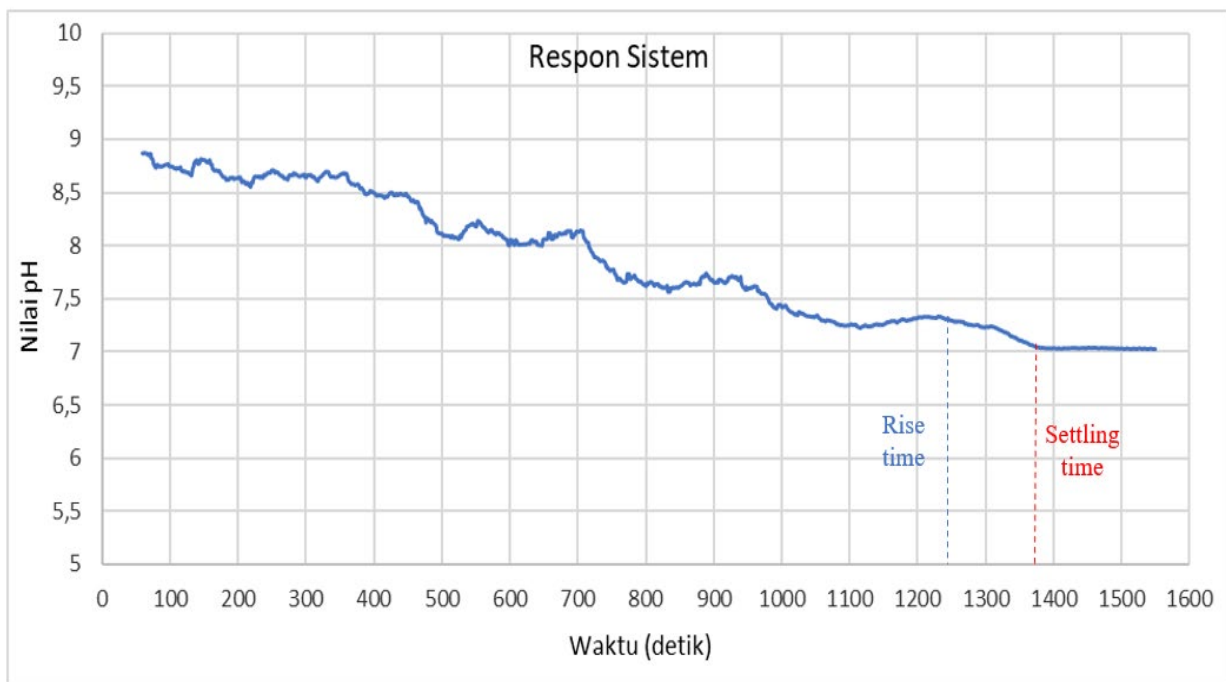
Jika pH berada di bawah *setpoint* kondisi *solenoid valve* akan mati (OFF) sedangkan pada saat pembacaan sensor pH di atas *setpoint* yaitu pH 7 maka kondisi *solenoid valve* akan hidup (ON). Berdasarkan pengujian *solenoid valve* tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem dapat bekerja sesuai dengan rancangan.

Setelah pompa dan *solenoid valve* diuji, alat diimplementasikan ke kolam ikan nila untuk melihat respons sistem. Respons sistem merupakan perubahan nilai output terhadap perubahan nilai

sinyal input. Pada saat sinyal input di berikan ke sistem maka sistem akan berubah, bersamaan dengan itu nilai output juga akan berubah sesuai dengan logika dan set point yang telah di tentukan. Respons sistem juga menampilkan waktu respons sistem dengan melihat berapa waktu yang di butuhkan sistem untuk mencapai kondisi stabil setelah terjadi proses perubahan input. **Gambar 5** menunjukkan hasil pengujian respons sistem yang pertama dan **Gambar 6** menunjukkan hasil pengujian respons sistem yang kedua.



**Gambar 5** Hasil Pengujian Pertama Respon Sistem



**Gambar 6** Hasil Pengujian Kedua Respon Sistem

### 3.2 Pembahasan Hasil Penelitian

Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan bahwa pada kondisi awal pengujian, kolam ikan nila memiliki pH sekitar 8,9 yang secara otomatis menyalakan sistem sehingga terjadi pengurusan dengan pompa dan pengisian air melalui solenoid valve. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang dibuat dalam penelitian ini mampu membaca perubahan pH dan mengendalikan nilai pH sesuai *setpoint* tidak hanya melakukan pemantauan seperti pada beberapa penelitian sebelumnya [15,16,17].

Waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk menurunkan nilai pH sampai mendekati *setpoint* (*rise time*) dari sistem adalah 1220 detik pada pengujian pertama dan 1240 detik pada pengujian kedua. Waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai kondisi *settling* ( $\pm 1\%$  dari *setpoint* yaitu pH 6,93-7,07) adalah 1380 detik pada pengujian pertama dan 1380 detik pada pengujian kedua. Hal ini menunjukkan konsistensi dalam waktu respons sistem ketika menurunkan nilai pH ke *setpoint* yang ditentukan. Waktu untuk mencapai *setpoint* pada penelitian ini lebih cepat dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan *buffer* pH di mana pada tahap implementasinya membutuhkan waktu sekitar 120 menit untuk mencapai *setpoint* [21]. Selain itu *trendline* kurva untuk pengujian pertama dan kedua juga cenderung mirip yaitu membentuk kurva polynomial orde dua. Artinya sistem pengendali pH sudah berjalan sesuai dengan rancangan dan mampu menurunkan nilai pH secara stabil hingga mencapai *setpoint*. Penurunan pH dengan cara seperti ini lebih aman dibandingkan proses instan dengan penambahan zat kimia.

### 4. KESIMPULAN

Sistem pengendali pH otomatis pada kolam budidaya ikan nila berhasil dibangun dan bekerja sesuai rancangan. Sistem mampu mendeteksi nilai pH dengan akurat dan menurunkan nilai pH ke *setpoint* yang ditentukan. Proses pergantian air mampu menjaga nilai pH air berada di range yang diharapkan yaitu dibawah *setpoint* pH 7. Pompa mampu mati dan hidup sesuai dengan pembacaan sensor pH dan *solenoid valve* mampu membuka dan menutup *valve* sesuai dengan *setpoint* yang ditentukan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Institut Teknologi Sumatera. Penelitian ini didanai oleh Hibah Penelitian Institut Teknologi Sumatera Tahun Anggaran 2024 sesuai dengan kontrak Nomor 1539av/IT9.2.1/PT.01.03/2024 tanggal 10 Juni 2024.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. K. Arora and I. Mishra, "Progress of sustainable development goal 7: clean and green energy for all as the biggest challenge to combat climate crisis," *Environmental Sustainability*, vol. 5, no. 4, pp. 395–399, 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s42398-022-00257-2>.
- [2] E. C. Legarda et al., "Integrated recirculating aquaculture system for mullet and shrimp using biofloc technology," *Aquaculture*, vol. 512, p. 734308, Oct. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734308>.
- [3] S. M. Pinho et al., "FLOCponics: The integration of biofloc technology with plant production," *Reviews in Aquaculture*, vol. 14, no. 2, pp. 647–675, Sep. 2021, doi: <https://doi.org/10.1111/raq.12617>.
- [4] N. B. Tarigan, S. Goddek, and K. J. Keesman, "Explorative Study of Aquaponics Systems in Indonesia," *Sustainability*, vol. 13, no. 22, p. 12685, Nov. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/su132212685>.
- [5] Y.-B. Yu et al., "Biofloc Application Using Aquaponics and Vertical Aquaculture Technology in Aquaculture: Review," *Fishes*, vol. 8, no. 11, p. 543, Nov. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/fishes8110543>.
- [6] N. Sharma, S. Acharya, K. Kumar, N. Singh, and O. P. Chaurasia, "Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview," *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 17, no. 4, pp. 364–371, 2018, doi: <https://doi.org/10.5958/2455-7145.2018.00056.5>.
- [7] S. Saseendran, K. Dube, M. H. Chandrakant, and A. M. Babitha Rani, "Enhanced growth response and stress mitigation of genetically improved farmed Tilapia in a biofloc integrated aquaponic system with bell pepper," *Aquaculture*, vol. 533, p. 736200, Feb. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736200>.
- [8] T. Yang and H.-J. Kim, "Comparisons of nitrogen and phosphorus mass balance for tomato-, basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems," *Journal of Cleaner Production*, vol. 274, p. 122619, Nov. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122619>.
- [9] N. R. Moparthy, Ch. Mukesh, and P. Vidya Sagar, "Water Quality Monitoring System Using IOT," 2018 Fourth International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and

- Bio-Informatics (AEEICB), Feb. 2018, doi: <https://doi.org/10.1109/aeecb.2018.8480963>.
- [10] Kementerian Kelautan Dan Perikanan Republik Indonesia. Available at: <https://kkp.go.id/kategori/181-Laporan-Tahunan> (Accessed: 21 November 2023).
- [11] M. F. Maldino, M. Junaidi, dan D. P. Lestari, "Pengaruh Kombinasi Filter dengan Sistem Resirkulasi Terhadap Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Benih Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)," *J. Ruaya*, vol. 11, no. 1, hlm. 22–30, 2023. <http://dx.doi.org/10.29406/jr.v11i1.4632>
- [12] L. Jansen and K. J. Keesman, "Exploration of efficient water, energy and nutrient use in aquaponics systems in northern latitudes," *Cleaner and Circular Bioeconomy*, vol. 2, p. 100012, Aug. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100012>.
- [13] S. Chen, X. Sun, X. Tian, W. Jiang, X. Dong, and L. Li, "Influence of ammonia nitrogen management strategies on microbial communities in biofloc-based aquaculture systems," *Science of The Total Environment*, vol. 903, pp. 166159–166159, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166159>.
- [14] Man Huan Su et al., "Simultaneous removal of toxic ammonia and lettuce cultivation in aquaponic system using microwave pyrolysis biochar," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 396, pp. 122610–122610, Sep. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122610>
- [15] S. M. P. Garcia, C. L. B. Santos, K. M. E. Briones, S. M. L. Reyes, M. A. G. Macasaet, and R. Pula, "Automated Water Quality Monitoring and Control for Milkfish Pond," *World Congress on Engineering and Technology; Innovation and its Sustainability 2018*, pp. 129–139, Aug. 2019, doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-20904-910>.
- [16] Md. M. Islam, M. A. Kashem, S. A. Alyami, and M. A. Moni, "Monitoring water quality metrics of ponds with IoT sensors and machine learning to predict fish species survival," *Microprocessors and Microsystems*, p. 104930, Sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2023.104930>.
- [17] Md. Moniruzzaman Hemal et al., "An Integrated Smart Pond Water Quality Monitoring and Fish Farming Recommendation Aquabot System," *Sensors*, vol. 24, no. 11, pp. 3682–3682, Jun. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/s24113682>.
- [18] Rahib Lentera Alam and Aris Nasuha, "Sistem Pengendali pH Air dan Pemantauan Lingkungan Tanaman Hidroponik menggunakan Fuzzy Logic berbasis IoT," *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, vol. 5, no. 1, pp. 11–20, May 2020, doi: <https://doi.org/10.21831/elinvo.v5i1.34587>.
- [19] Renny Eka Putri, Afifah Khainur, and Andasuryani Andasuryani, "Pengembangan Sistem Otomatisasi pH Larutan Nutrisi pada Hidroponik Sistem DFT (Deep Flow Technique) Berbasis IOT," *Agritech*, vol. 43, no. 3, pp. 259–259, Sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.22146/agritech.71305>.
- [20] Devita Gude Devi, W. Musa, and Syahrir Abdussamad, "Rancang Bangun Sistem Pengontrol dan Monitoring pH Air Hidroponik Menggunakan Aplikasi Blynk," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 57–62, Jan. 2024, doi: <https://doi.org/10.37905/jjee.v6i1.20827>.
- [21] Ari Rahayuningtyas, Diang Sagita, and Novita Dwi Susanti, "Rancang bangun sistem monitoring dan kontrol pH air untuk budidaya ikan lele," *Agrointek : Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, vol. 17, no. 1, pp. 97–105, 2023, doi: <https://doi.org/10.21107/agrointek.v17i1.14129.g6972>.
- [22] Badan Standar Nasional. 2009. SNI 6141:2009. Produksi Benih Ikan Nila Hitam (*Oreochromis Niloticus* Bleeker) Kelas Benih Sebar. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta. <https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/7722-sni-61412009>
- [23] Z. Meng et al., "Design and Application of Liquid Fertilizer pH Regulation Controller Based on BP-PID-Smith Predictive Compensation Algorithm," *Applied sciences*, vol. 12, no. 12, pp. 6162–6162, Jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/app12126162>