

Sistem Aerasi dengan Pengendalian PID untuk Optimalisasi Kadar Oksigen Terlarut pada Kolam Ikan

Rima Nur Kamilah¹, Nurul Hiron², Firmansyah Maulana³

¹²³Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Siliwangi, Jl. Mugarsari, Kecamatan Tamansari, Kota Tasikmalaya, Jawa Barat, 46196, Indonesia

Korespondensi: 217002014@student.unsil.ac.id

ARTICLE HISTORY

Received: 02-10-2025

Revised: 14-11-2025

Accepted: 05-12-2025

Abstrak

Kadar oksigen terlarut (DO) merupakan parameter penting dalam budidaya ikan karena berpengaruh langsung terhadap metabolisme, pertumbuhan, dan kelangsungan hidup ikan. Penelitian ini merancang sistem aerasi otomatis berbasis kontrol Proportional–Integral–Derivative (PID) menggunakan mikrokontroler LilyGO T-Relay dan modul AC Dimmer. Sistem dilengkapi sensor DO, pH, dan suhu yang memantau kualitas air secara real-time serta mengirim data ke Google Sheets melalui koneksi Wi-Fi. Pengujian dilakukan pada empat setpoint DO: 4 mg/L, 5,3 mg/L, 6 mg/L, dan 7 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan sistem mampu mempertahankan DO dengan error rata-rata 2,02% dan penghematan energi hingga 99,5%, dengan konsumsi daya terendah 0,45 Wh pada setpoint 4 mg/L. Sistem ini dinilai efektif menjaga kualitas air sekaligus meningkatkan efisiensi energi dalam budidaya ikan.

Kata kunci: PID, aerasi, oksigen terlarut, konsumsi energi, mikrokontroler.

Aeration System with PID Control to Optimize Dissolved Oxygen Levels in Fish Ponds

Abstract

Dissolved oxygen (DO) levels are an important parameter in fish farming because they directly affect fish metabolism, growth, and survival. This study designed an automatic aeration system based on Proportional–Integral–Derivative (PID) control using a LilyGO T-Relay microcontroller and an AC Dimmer module. The system is equipped with DO, pH, and temperature sensors that monitor water quality in real-time and send data to Google Sheets via a Wi-Fi connection. Tests were conducted at four DO setpoints: 4 mg/L, 5.3 mg/L, 6 mg/L, and 7 mg/L. The results showed that the system was able to maintain DO with an average error of 2.02% and energy savings of up to 99.5%, with the lowest power consumption of 0.45 Wh at the 4 mg/L setpoint. This system is considered effective in maintaining water quality while increasing energy efficiency in fish farming.

Key words: PID, aeration, dissolved oxygen, energy consumption, microcontroller.

1. Pendahuluan

Sektor perikanan memiliki peran strategis dalam perekonomian nasional sebagai sumber lapangan kerja, pendapatan, dan penyedia protein. Dengan wilayah laut mencapai dua pertiga, Indonesia memiliki potensi budidaya ikan yang besar. Pada tahun 2019, produksi perikanan nasional mencapai 23,67 juta ton, meningkat 2,29% dari tahun sebelumnya. Budidaya ikan merupakan salah satu sektor strategis dalam mendukung ketahanan pangan nasional dan perekonomian Indonesia. Berdasarkan data Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), produksi perikanan budidaya telah mencapai lebih dari 15 juta ton per tahun dan terus meningkat seiring dengan tingginya permintaan protein hewani. Namun, keberhasilan kegiatan budidaya tersebut sangat dipengaruhi oleh kestabilan kualitas air, terutama pada sistem budidaya intensif yang memiliki kepadatan ikan tinggi. Ketidakseimbangan kualitas air dapat menyebabkan stres fisiologis, menurunkan laju pertumbuhan, serta menurunkan tingkat kelangsungan hidup ikan hingga lebih dari 30%. [1]. [2], [3].

Salah satu parameter utama dalam menjaga kualitas air adalah oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*). Kadar DO yang terlalu rendah (kurang dari 3 mg/L) dapat menghambat metabolisme ikan bahkan menyebabkan kematian dalam waktu singkat. [2]. Kisaran optimal untuk mendukung pertumbuhan dan kesehatan ikan adalah antara 5 hingga 7 mg/L [3]. Untuk mempertahankan kadar DO pada kisaran optimal digunakan aerator yang berfungsi menyuplai oksigen melalui gelembung udara [4]. Namun, sebagian besar aerator konvensional masih beroperasi secara manual atau sistem on-off sederhana, sehingga kurang adaptif terhadap perubahan kondisi air dan menyebabkan fluktuasi kadar DO yang signifikan. Selain itu, aerator berkontribusi terhadap 35–40% total konsumsi energi listrik dalam sistem budidaya. [5]. [6], [7]. Pada sistem berskala menengah dengan kapasitas 100 m³, konsumsi ini dapat mencapai ±480 kWh per bulan. Dengan tingginya beban energi tersebut, efisiensi operasional aerator menjadi fokus utama dalam optimalisasi budidaya.

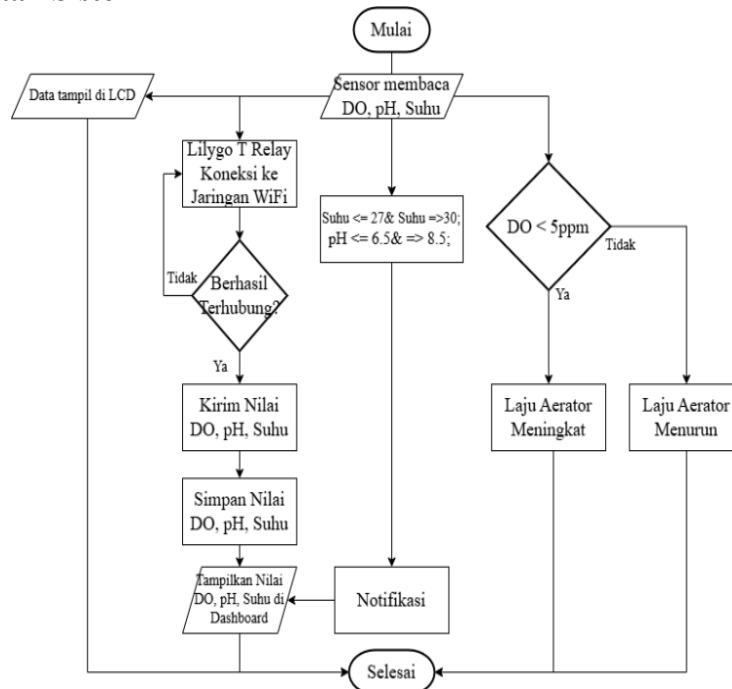
Upaya peningkatan efisiensi energi dan kestabilan kadar DO dapat dilakukan dengan menerapkan sistem kendali cerdas berbasis Proportional–Integral–Derivative (PID). Sistem PID bekerja secara otomatis berdasarkan umpan balik dari sensor DO untuk menyesuaikan laju aerasi secara real-time sesuai kebutuhan aktual perairan. [8]. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan kendali PID mampu meningkatkan efisiensi energi sebesar 10–57% serta mengurangi fluktuasi DO dibandingkan sistem on-off konvensional. [9], [10]. Penelitian oleh Pereira Silva [11] menunjukkan bahwa penggunaan PID dapat menurunkan konsumsi energi hingga 26,35%, sementara algoritma e-RBF-PID mampu mempercepat waktu respon sistem sebesar 49% [12]. Selain itu, optimasi parameter PID dengan metode algoritma genetika berhasil mengurangi konsumsi energi hingga 16,07% dibandingkan metode Ziegler–Nichols [13].

Meskipun kendali PID banyak digunakan di industri besar, penerapannya pada budidaya ikan skala kecil masih minim karena biaya dan kompleksitas alat. Penelitian ini merancang sistem aerasi otomatis berbasis mikrokontroler LilyGO T-Relay dengan algoritma PID sederhana yang hemat biaya, efisien, dan mudah direplikasi. Sistem ini mengatur kecepatan aerator sesuai pembacaan DO secara real-time dan menyimpan data ke cloud untuk pemantauan jarak jauh. Pengembangan ini diharapkan menjadi solusi

praktis untuk efisiensi energi, menjaga kualitas air, dan mendukung penerapan IoT dalam akuakultur [7], [14].

2. Metode

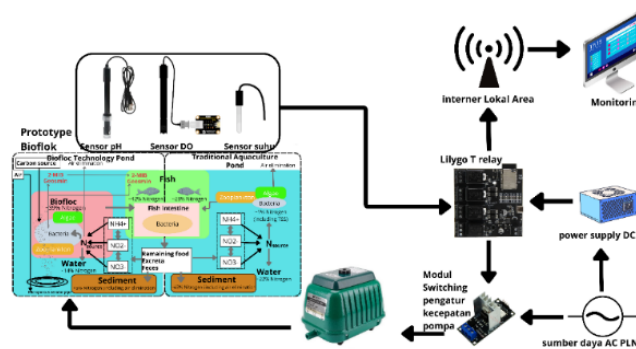
2.1 Perencanaan Sistem



Gambar1. Flowchart Perencanaan Sistem.

Sistem ini berfungsi memantau dan mengatur kadar oksigen terlarut (DO) pada kolam ikan secara otomatis. Data sensor dikirim ke Google Sheets saat WiFi tersambung, dan ditampilkan di LCD saat koneksi terputus. Ketika DO berada di bawah 5 mg/L, kecepatan aerator dinaikkan, dan diturunkan kembali ketika DO telah melewati ambang tersebut. Sensor pH dan suhu digunakan sebagai informasi pendukung kualitas air. Penelitian ini merancang dan menguji sistem aerasi otomatis berbasis PID untuk mengoptimalkan DO sekaligus meningkatkan efisiensi energi, melalui tahapan perancangan, pengujian, dan analisis performa sistem.

2.2 Arsitektur Sistem



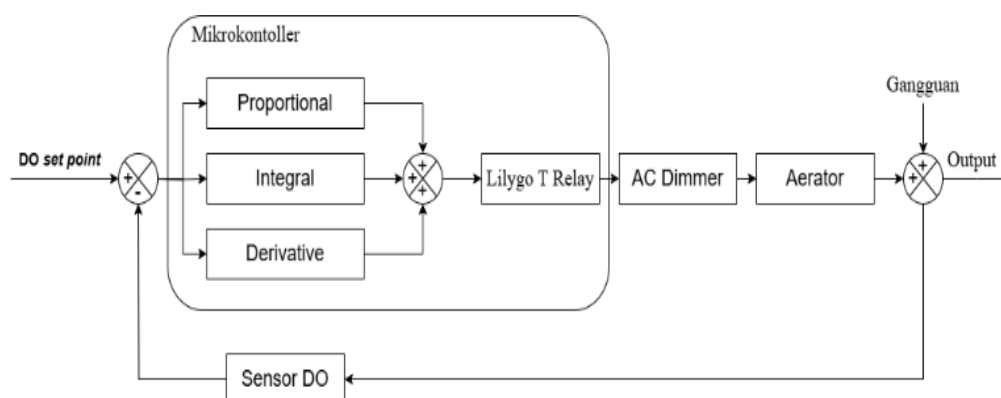
Gambar 2. Arsitektur Sistem.

Gambar 2 menunjukkan sistem aerasi otomatis dirancang menggunakan mikrokontroler LilyGO T-Relay sebagai pusat kendali. Mikrokontroler mengatur sinyal PWM ke AC Dimmer RobotDyn untuk mengontrol kecepatan aerator RESUN LP100. Sistem menggunakan sensor DO, pH, dan suhu serta LCD 16x2 I2C untuk menampilkan informasi. Data DO diproses dengan algoritma PID, yang menghitung error antara nilai aktual dan setpoint, lalu menyesuaikan sinyal PWM agar aerator menjaga kadar oksigen tetap stabil. Selain itu, sistem dilengkapi dengan fitur *Internet of Things (IoT)* yang mengunggah hasil pembacaan sensor secara otomatis ke *Google Sheets* melalui koneksi *Wi-Fi*, memungkinkan pemantauan data DO secara *real-time*.

2.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan penelitian ditunjukkan pada Gambar 2, yang menggambarkan sistem aerasi berbasis kendali PID. Sistem ini menggunakan mikrokontroler LilyGO T-Relay sebagai pusat kendali, sensor DO sebagai acuan utama, serta sensor suhu DS18B20 dan sensor pH *Gravity* sebagai pendukung pemantauan kualitas air. Aerasi dilakukan menggunakan pompa Resun LP100 yang diatur melalui dimmer AC RobotDyn untuk mengontrol kecepatan pompa secara presisi. Meski ditujukan untuk kolam bioflok, pengujian dilakukan pada wadah uji sederhana untuk memastikan fungsi utama sistem berjalan sesuai tujuan penelitian.

2.4 Blok Diagram Sistem Kendali PID



Gambar 3. Blok Diagram Sistem Kendali PID.

Gambar 3 menampilkan blok diagram sistem kendali PID untuk mengatur kadar DO, yang terdiri dari sensor DO, mikrokontroler LilyGO T-Relay, modul AC Dimmer, aerator, dan dashboard IoT. Sensor membaca kadar oksigen, mikrokontroler mengolah data dan mengirim sinyal ke dimmer untuk mengatur kecepatan aerator, sementara hasil pengukuran dan status kendali ditampilkan di LCD dan dikirim ke *cloud*. Sistem bekerja dalam *loop* tertutup untuk menjaga kestabilan DO terhadap gangguan lingkungan. Parameter K_p , K_i , dan K_d disetel dengan metode *trial and error* hingga diperoleh respons terbaik dengan *rise time* cepat, *overshoot* kecil, dan *error steady state* minimal. Hasil tuning terbaik diperoleh dengan parameter $K_p = 4$, $K_i = 0,4$, dan $K_d = 3,5$, yang menghasilkan kestabilan sistem optimal pada setpoint 5,3 mg/L.

2.5 Prosedur Pengujian

Dalam penelitian ini, dilakukan beberapa kombinasi pengujian dengan variasi setpoint kadar oksigen terlarut (DO) dan waktu pelaksanaan pengujian. Tujuannya adalah untuk

mengevaluasi sejauh mana sistem kendali PID mampu menyesuaikan kinerja aerator guna menjaga kestabilan kadar DO, serta untuk melihat konsumsi energi pada masing-masing kondisi. Dengan demikian, sistem diuji dalam berbagai situasi untuk memastikan performa yang optimal.

Tabel 1. Jumlah Pengujian

No.	Kadar DO (mg/L)	Durasi Aerasi (menit)
1	4	60
2	5.3	60
3	6	60
4	7	60

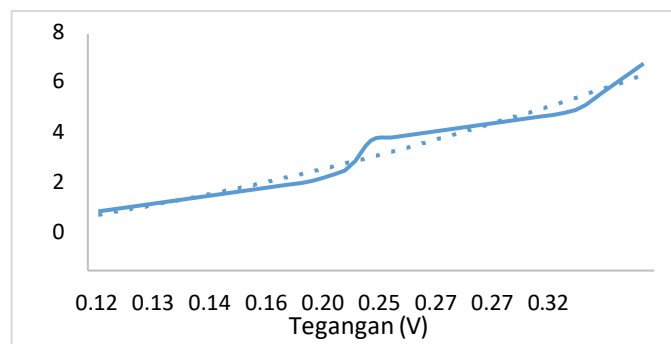
Pengujian sistem dilakukan pada empat setpoint DO (4, 5,3, 6, dan 7 mg/L) untuk menilai kestabilan kontrol oksigen dan efisiensi energi. Tahapan pengujian meliputi kalibrasi sensor DO, pengecekan hubungan PWM–tegangan–daya pada dimmer, pengujian respons dinamis PID pada tiap *setpoint*, serta analisis konsumsi energi menggunakan wattmeter untuk membandingkan kinerja sistem dengan dan tanpa PID.

2.6 Analisis Data

Data hasil pengujian diolah secara kuantitatif. Nilai error dihitung menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), sedangkan efisiensi energi dihitung dengan perbandingan konsumsi daya aerator terkendali PID terhadap kondisi konvensional. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan temuan penelitian terdahulu guna menilai keefektifan sistem yang dirancang.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Kalibrasi Sensor DO



Gambar 4. Hasil Kalibrasi Sensor DO.

Pada Gambar 4 proses kalibrasi sensor DO dilakukan dengan mencatat tegangan output dari sensor (sumbu x) terhadap kadar oksigen terlarut (DO) yang terukur dialat ukur (sumbu y). Data tersebut kemudian diolah dan diplot dalam bentuk grafik untuk mengetahui hubungan antara tegangan dan nilai DO. Berdasarkan grafik pada Gambar 4 menghasilkan persamaan:

$$y = 0.00001x^2 + 0.0136x + 0.3352 \dots\dots\dots (1)$$

Persamaan 1 digunakan untuk mengubah tegangan dari sensor DO (dinyatakan sebagai x) menjadi kadar oksigen terlarut dalam air (dinyatakan sebagai y) dalam satuan mg/L.

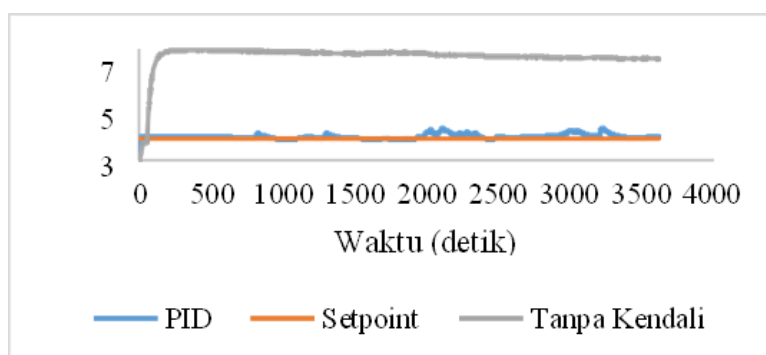
Tabel 2. Hasil Perbandingan Sensor DO

No	Sensor DO (mg/L)	Alat Ukur DO (mg/L)	Error (%)
1.	3.66	3.5	4.47
2.	3.73	3.6	3.61
3.	3.93	3.8	3.42
4.	4.16	4.1	1.46
5.	4.58	4.5	1.78
6.	5.49	5.4	1.84
7.	5.90	5.8	1.72
8.	7.29	7.3	0.14
9.	7.72	7.8	1.03
10.	8.05	8	0.63
Rata – Rata Error (%)			2.02

Kalibrasi sensor DO dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi (DO meter). Dari hasil pengujian diperoleh rata-rata error sebesar 2,02%, yang masih dalam batas toleransi standar pengukuran laboratorium. Hal ini menunjukkan bahwa sensor DO DFRobot dapat digunakan secara akurat untuk sistem kendali otomatis.

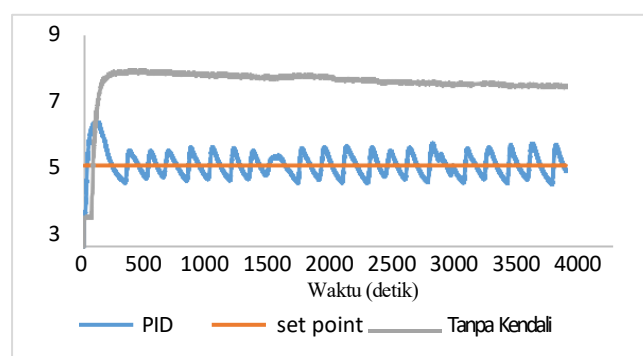
3.2 Hasil Pengujian Kendali PID terhadap setpoint DO

Penentuan parameter kendali PID dilakukan menggunakan metode trial and error untuk mencapai performa sistem yang optimal [16]. Proses tuning ini dilakukan secara bertahap dengan menyesuaikan nilai Kp, Ki, dan Kd berdasarkan respons sistem secara langsung. Hasil kendali PID terhadap pengoperasian pompa ditunjukkan pada Gambar 5,6,7 dan 8.



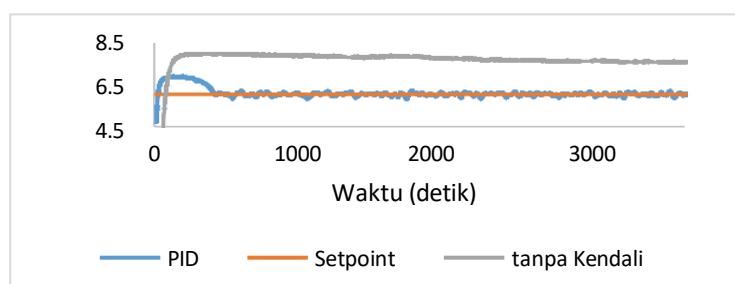
Gambar 5. Respon Sistem PID pada Setpoint 4 mg/L, $K_p=2$, $K_i=0.1$, $K_d=4.5$.

Gambar 5 menunjukkan respon sistem PID Pada setpoint 4 mg/L dengan parameter $K_p = 2$, $K_i = 0,1$, dan $K_d = 4,5$, sistem mampu mencapai nilai target dalam waktu 50 detik dengan overshoot sebesar 2,5% serta stabil pada rentang 3,8–4,46 mg/L. Meskipun masih terdapat sedikit osilasi, tingkat kestabilan sistem sudah tergolong baik untuk tahap awal pengujian.



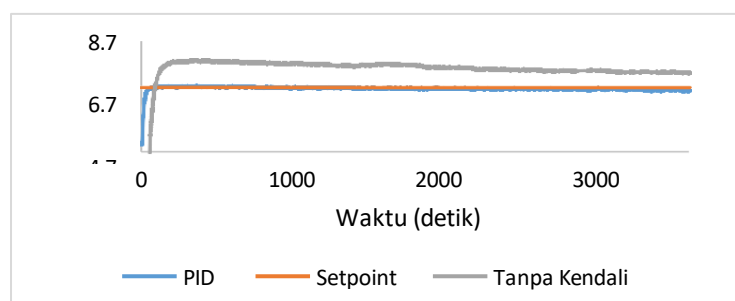
Gambar 6. Respon Sistem PID pada Setpoint 5.3 mg/L, $K_p=4$, $K_i=0.4$, $K_d=3.5$.

Gambar 6 menunjukkan respon sistem pada *setpoint* 5,3 mg/L dengan parameter $K_p = 4$, $K_i = 0,4$, dan $K_d = 3,5$, sistem mencapai kestabilan setelah 300 detik dengan *overshoot* 22,64% dan berfluktuasi di sekitar 4,9–5,7 mg/L, yang menunjukkan respon cepat namun masih memerlukan penyesuaian nilai K_d untuk mengurangi osilasi.



Gambar 7. Respon Sistem PID pada Setpoint 6 mg/L, $K_p=3$, $K_i=0.25$, $K_d=5$.

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 7, menunjukkan pada *setpoint* 6 mg/L dengan parameter $K_p = 3$, $K_i = 0,25$, dan $K_d = 5$, sistem berhasil mencapai nilai target dalam 20 detik, mengalami *overshoot* 13,3%, dan stabil di kisaran 5,8–6,2 mg/L dengan *settling time* pada detik ke-500, yang menandakan performa kontrol cukup baik dengan *error steady state* rendah.

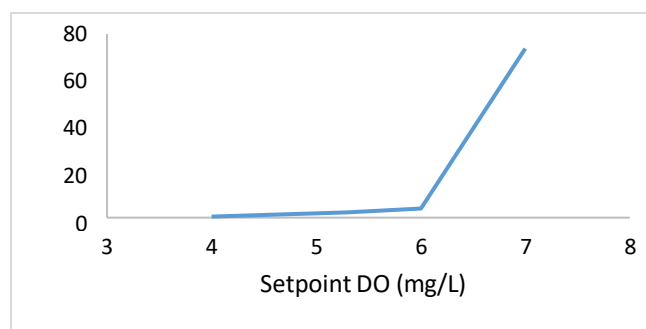


Gambar 8. Respon Sistem PID pada Setpoint 7 mg/L, $K_p=4.2$, $K_i=0.35$, $K_d=4.2$.

Pada Gambar 6 grafik menunjukkan Terakhir, pada *setpoint* 7 mg/L dengan parameter $K_p = 4,2$, $K_i = 0,35$, dan $K_d = 4,2$, sistem menunjukkan kestabilan tinggi dan osilasi minimal di sekitar nilai target, menghasilkan respon yang cepat dan stabil, serta mengindikasikan bahwa parameter PID telah mendekati kondisi optimal.

Berdasarkan hasil pengujian tanpa metode tuning seperti Ziegler–Nichols, sistem PID terbukti mampu mengatur kadar oksigen terlarut dengan respon yang stabil dan akurat pada keempat variasi setpoint. Meskipun tiap kombinasi parameter menunjukkan karakteristik berbeda, semuanya dapat mencapai setpoint dengan overshoot dan osilasi yang masih dapat diterima. Setpoint 7 mg/L memberikan performa terbaik dengan respon cepat, stabil, dan osilasi minimal, sehingga dianggap paling optimal untuk pengendalian kadar oksigen di kolam ikan.

3.3 Hasil Pengujian Kendali PID terhadap Konsumsi Energi



Gambar 9. Hubungan antara Setpoint dengan Energi.

Dari Gambar 9 tampak bahwa semakin tinggi setpoint DO, konsumsinya juga meningkat. Energi rata-rata naik dari 0,45 Wh pada setpoint 4 mg/L, menjadi 2,25 Wh pada 5,3 mg/L, lalu 3,92 Wh pada 6 mg/L, dan melonjak tajam hingga 73,64 Wh pada 7 mg/L. Ini menunjukkan bahwa mempertahankan DO pada level tinggi membutuhkan beban kerja pompa yang jauh lebih besar, namun kendali PID tetap lebih efisien dibanding sistem tanpa kendali karena menyesuaikan daya sesuai kebutuhan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem aerasi otomatis berbasis kendali PID yang mampu menjaga kadar oksigen terlarut (DO) pada kisaran optimal 5–7 mg/L dengan rata-rata error 2,02%. Sistem yang dikendalikan oleh mikrokontroler LilyGO T-Relay ini terbukti efektif menstabilkan kadar DO sekaligus meningkatkan efisiensi energi hingga 99,5%, dengan konsumsi daya terendah hanya 0,45 Wh dibandingkan sistem tanpa kendali PID sebesar 84,71 Wh. Nilai parameter $K_p = 4$, $K_i = 0,4$, dan $K_d = 3,5$ menghasilkan respon paling stabil dan cepat. Selain efisien, integrasi sistem dengan *IoT* berbasis *Google Sheets* memungkinkan pemantauan kadar DO secara *real-time*, mendukung penerapan budidaya ikan cerdas dan berkelanjutan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Siliwangi, khususnya Laboratorium Riset 2, atas dukungan fasilitas dan lingkungan riset yang kondusif selama proses penelitian ini berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan motivasi sejak tahap

perancangan hingga penyusunan artikel ini. Tak lupa, penulis menghargai semua bentuk bantuan dari rekan-rekan yang turut serta dalam proses pengujian dan pengumpulan data. Dukungan teknis, semangat, dan kerja sama dari berbagai pihak sangat berarti dalam keberhasilan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Y. Mulyani, D. Y. Pratiwi, and M. U. K. Agung, "Penyuluhan Daring Manajemen Kualitas Air untuk Budidaya Ikan dalam Ember di Desa Cipacing, Kecamatan Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat," *Farmers J. Community Serv.*, vol. 2, no. 1, p. 42, 2021, doi: 10.24198/fjcs.v2i1.31546.
- [2] E. Toro, D. Hartono, and M. A. F. Utami, "Kajian Kualitas Air Terhadap Pertumbuhan Ikan Sidat Pada Kolam Air Mengalir," *AQUACOASTMARINE J. Aquat. Fish. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 50–55, 2024, doi: 10.32734/jafs.v3i1.13303.
- [3] J. G. Mansula and A. Romadhon, "Analisis Kesesuaian Habitat Peneluran Penyus Di Pantai Saba, Gianyar, Bali," *Juv. Ilm. Kelaut. dan Perikan.*, vol. 1, no. 1, pp. 8–18, 2020, doi: 10.21107/juvenil.v1i1.6669.
- [4] P. A. Indriati and H. Hafiludin, "Manajemen Kualitas Air Pada Pembenihan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) Di Balai Benih Ikan Teja Timur Pamekasan," *Juv. Ilm. Kelaut. dan Perikan.*, vol. 3, no. 2, pp. 27–31, 2022, doi: 10.21107/juvenil.v3i2.15812.
- [5] M. A. Djaelani, K. Kasiyati, and S. Sunarno, "Pertambahan Bobot Tubuh, Panjang Tubuh dan Tinggi Tubuh Ikan Nila Merah (*Oreochromis niloticus*) yang Dipelihara Pada Aerasi dan Padat Tebar Berbeda," *Bul. Anat. dan Fisiol.*, vol. 8, no. 2, pp. 106–113, 2023, doi: 10.14710/baf.8.2.2023.106-113.
- [6] D. Li, M. Zou, and L. Jiang, "Dissolved oxygen control strategies for water treatment: a review," *Water Sci. Technol.*, vol. 86, no. 6, pp. 1444–1466, 2022, doi: 10.2166/wst.2022.281.
- [7] Z. Dong and Y. Wang, "Optimization of Power Load and Energy Consumption in Industrialized Recirculating Aquaculture System," in *IET Conference Proceedings, IET*, 2023, pp. 79–82. doi: 10.1049/icp.2023.1875.
- [8] X. Zhou, J. Wang, L. Huang, D. Li, and Q. Duan, "Modelling and controlling dissolved oxygen in recirculating aquaculture systems based on mechanism analysis and an adaptive PID controller," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 192, p. 106583, 2022, doi: 10.1016/j.compag.2021.106583.
- [9] M. K. Dawane and G. M. Malwatkar, "Theoretical and experimental implementation of PID and sliding mode control on an inverted pendulum system," *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 14, no. 2, pp. 920–930, 2024, doi: 10.11591/eei.v14i2.8439.
- [10] H. A. Abdelrahman and C. E. Boyd, "Effects of mechanical aeration on evaporation rate and water temperature in aquaculture ponds," *Aquac. Res.*, vol. 49, no. 6, pp. 2184–2192, 2018, doi: 10.1111/are.13674.
- [11] N. Nuryanti, B. Dwiartomo, and A. N. Hikmah, "Pengaturan Energy Hybrid Tenaga Surya dan PLN pada Pompa Aerasi Tambak Udang Berbasis PID Control," *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 12, pp. 12–17, 2021, doi: 10.35313/irwns.v12i0.2649.

- [12] F. H. Pereira Silva, “On/Off Control Versus PID Control: A Comparative Case Study On Condensers of Cooling Systems,” pp. 88–99, 2022, doi: 10.33422/4th.raseconf.2022.09.48.
- [13] Z. Wang et al., “Development of an Enhanced Self-Tuning RBF-PID Controller for Achieving Higher Energy-Efficient Process Control,” *J. Build. Constr. Plan. Res.*, vol. 09, no. 04, pp. 272–291, 2021, doi: 10.4236/jbcpr.2021.94017.
- [14] H. Maghfiroh, M. Nizam, and S. Praptodiyono, “PID optimal control to reduce energy consumption in DC-drive system,” *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 11, no. 4, pp. 2164–2172, 2020, doi: 10.11591/ijpeds.v11.i4.pp2164-2172.
- [15] X. Yao, G. Zhang, S. Yang, and Y. Chen, “Adaptive Anti-Disturbance Control of Dissolved Oxygen in Circulating Water Culture Systems,” *Symmetry (Basel)*, vol. 15, no. 11, 2023, doi: 10.3390/sym15112015.
- [16] A. Hadi, “Perbandingan Tuning Parameter Kontroller PD Menggunakan Metode Trial and Error dengan Analisa Gain pada Motor Servo AC,” *Inovtek Polbeng*, vol. 6, no. 1, pp. 1–5, 2016, [Online]. Available: <http://ejournal.polbeng.ac.id/index.php/IP/article/view/42>