

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN LEVEL AIR MENGGUNAKAN ADAPTIVE PID BERBASIS ESP32 PADA SISTEM FISH COUNTER

Jordan Sastrian^{1*}, Nabila Rahmadani²,

^{1,2}Politeknik Negeri Sriwijaya; Jalan Srijaya Negara, Bukit Besar, Kota Palembang, Sumatra Selatan 30139; Telpn: +62711353414 Fax: +62711355918

Keywords:

Adaptive PID;
ESP32;
Fish Counter;
HC-SR04;
Pengendalian Level Air.

Correspondent Email:

jordansastrian@gmail.com

Abstrak. Pengendalian level air yang stabil merupakan faktor penting dalam sistem *fish counter* karena memengaruhi kualitas akuisisi citra dan akurasi penghitungan benih ikan. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan metode *Adaptive Proportional-Integral-Derivative* (PID) berbasis sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengendalikan proses pengisian dan pengosongan air secara otomatis pada sistem fish counter. Sistem dikembangkan menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama, dua sensor HC-SR04 sebagai umpan balik level air, driver motor L298N untuk mengatur kecepatan pompa, serta solenoid valve sebagai aktuator pengosongan. Parameter K_p , K_i , dan K_d disesuaikan secara real-time berdasarkan nilai error sehingga keluaran PWM berubah mengikuti kondisi level air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor HC-SR04 memiliki rata-rata error sebesar 2,39% pada Tangki 1 dan 1,03% pada Tangki 2. Sistem berhasil mencapai setpoint 8 cm dalam waktu 117 detik dengan ketinggian akhir 8,12 cm, menghasilkan *overshoot* sebesar 1,5% serta respons yang stabil. Selain itu, mekanisme pengosongan berbasis kendali *on/off* mampu mengosongkan tangki secara konsisten. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *Adaptive PID* efektif dalam menjaga kestabilan level air, sehingga mendukung proses akuisisi citra dan meningkatkan keandalan sistem fish counter.



Copyright © 2026 The Author(s), Published by Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

Abstract. Stable water level control is a crucial factor in fish counter systems because it directly affects image acquisition quality and fish fry counting accuracy. This study aims to implement an *Adaptive Proportional-Integral-Derivative* (PID) controller based on the HC-SR04 ultrasonic sensor to automatically regulate the water filling and draining processes in a fish counter system. The proposed system employs an ESP32 as the main controller, two HC-SR04 ultrasonic sensors for water level feedback, an L298N motor driver to regulate pump speed, and a solenoid valve for the draining process. The K_p , K_i , and K_d parameters are adjusted in real time according to the control error, enabling the PWM output to adapt to changes in the water level. Experimental results show that the HC-SR04 sensor achieved an average measurement error of 2.39% for Tank 1 and 1.03% for Tank 2. The proposed system successfully reached the 8 cm setpoint within 117 s, with a final water level of 8.12 cm, resulting in a low overshoot of 1.5% and a stable control response. Furthermore, the on/off-based draining mechanism consistently emptied the tank as expected. These results demonstrate that the proposed *Adaptive PID* controller effectively maintains water level stability, thereby improving image acquisition conditions and enhancing the reliability of the fish counter system.

1. PENDAHULUAN

Pengendalian level air pada tangki penampungan merupakan aspek penting dalam sistem otomasi karena memengaruhi efisiensi penggunaan energi, kestabilan proses, dan pencegahan terjadinya *overflow* [1]. Penggunaan metode kendali sederhana pada proses pengisian dan pengosongan air masih sering menyebabkan pompa bekerja tidak efisien, respon sistem lambat, serta fluktuasi level air ketika kondisi operasi berubah [2]. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengukuran dan pengendalian level air yang mampu bekerja secara otomatis dan stabil.

Sensor ultrasonik HC-SR04 banyak dimanfaatkan sebagai perangkat pengukur level air karena mampu melakukan pengukuran secara non-kontak, memiliki akurasi yang baik, serta menyediakan data secara *real-time* [3]. Data pengukuran tersebut digunakan sebagai masukan bagi sistem kendali untuk mengatur kerja pompa dan katup agar level air tetap sesuai dengan nilai setpoint [4][5]. Namun, pada sistem dua tangki, proses pengisian dan pengosongan yang berlangsung secara bergantian menyebabkan dinamika sistem menjadi lebih kompleks sehingga pengendali *on-off* sering menghasilkan osilasi dan kurang mampu mempertahankan kestabilan level air. Metode *Proportional-Integral-Derivative* (PID) diketahui mampu memberikan respon yang lebih cepat dan kesalahan keadaan tunak yang lebih kecil dibandingkan kendali sederhana [6][7].

Penelitian mengenai sistem pengendalian level air terus berkembang dari penggunaan logika kendali *on-off* hingga metode *Proportional-Integral-Derivative* (PID) dan kontrol adaptif. Lebang mengembangkan sistem pengisian air otomatis berbasis Arduino dan sensor ultrasonik yang mampu mencegah *overflow* [8], namun masih menggunakan kendali *on-off*. Pratita *et al.* [9] menerapkan PID berbasis ESP32 dan IoT yang menghasilkan *overshoot* sebesar 6,7% dengan *settling time* 38 detik, sedangkan Silawardono *et al.* [10] mengimplementasikan PID *autotuning* berbasis PLC yang mampu mempertahankan level air dengan tingkat kesalahan maksimum 4%. Sementara itu, Karam *et al.* [11] menunjukkan bahwa *Modified Model-Free Adaptive Controller* (MMFAC) memberikan respons

yang lebih baik dibandingkan PID konvensional pada simulasi, dan Afnan *et al.* [12] membuktikan melalui simulasi MATLAB bahwa PID memiliki performa terbaik dibandingkan kontrol P, PI, dan PD.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada sistem satu tangki, menggunakan parameter PID tetap atau *autotuning*, serta beberapa masih terbatas pada simulasi. Belum banyak penelitian yang mengimplementasikan *Adaptive PID* pada sistem dua tangki dengan proses pengisian dan pengosongan secara bergantian pada plant nyata. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem pengukuran dan pengendalian level air menggunakan metode *Adaptive PID* berbasis sensor ultrasonik HC-SR04 untuk meningkatkan kestabilan sistem, kemampuan adaptasi terhadap perubahan kondisi operasi.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengimplementasikan metode *Adaptive PID* pada sistem pengukuran dan pengendalian level air dua tangki berbasis sensor ultrasonik HC-SR04. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu beradaptasi terhadap perubahan kondisi operasi, menjaga kestabilan level air selama proses pengisian dan pengosongan pada alat *fish counter*, serta meningkatkan efisiensi pengoperasian pompa dibandingkan penelitian sebelumnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pengontrol Level Air

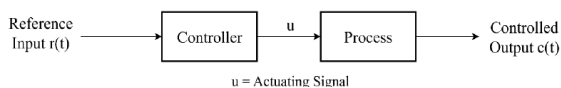
Sistem pengontrol level air merupakan sistem otomatis yang dirancang untuk menjaga ketinggian air pada nilai yang telah ditentukan (*set point*) dengan memanfaatkan sensor level, pengendali, dan aktuator seperti pompa atau katup. Sistem ini banyak digunakan pada aplikasi industri maupun akuakultur karena mampu meningkatkan efisiensi operasional, menjaga kestabilan proses, serta mengurangi kesalahan akibat pengoperasian secara manual. Perkembangan teknologi juga memungkinkan sistem ini diintegrasikan dengan ESP32 sehingga proses monitoring dan pengendalian dapat dilakukan secara *real-time* [13].

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode kendali seperti PID pada sistem pengontrol level air mampu

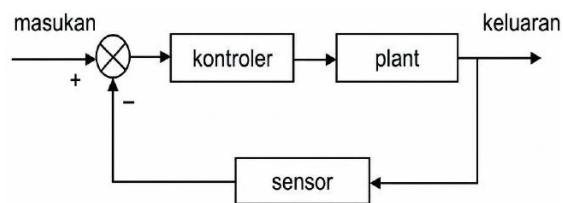
mempertahankan ketinggian air secara stabil meskipun terjadi gangguan pada sistem. Selain itu, integrasi teknologi IoT memungkinkan data ketinggian air dipantau secara jarak jauh sehingga meningkatkan keandalan dan efektivitas pengelolaan sistem [14]. Oleh karena itu, sistem pengontrol level air menjadi komponen penting pada penelitian ini untuk menjaga kondisi permukaan air tetap stabil selama proses penghitung benih ikan berlangsung.

2.2 Sistem Kontrol

Sistem kontrol merupakan sekumpulan perangkat yang berfungsi mengatur dan mengendalikan suatu proses agar menghasilkan keluaran sesuai dengan nilai yang diinginkan berdasarkan masukan yang diberikan [15]. Berdasarkan mekanisme pengendaliannya, sistem kontrol dibedakan menjadi dua, yaitu sistem kontrol terbuka (*open-loop*) dan sistem kontrol tertutup (*closed-loop*) [16][17]. Sistem kontrol terbuka bekerja tanpa umpan balik sehingga keluaran tidak memengaruhi proses pengendalian, sedangkan sistem kontrol tertutup memanfaatkan umpan balik dari keluaran untuk menyesuaikan proses secara otomatis agar tetap mencapai nilai yang telah ditetapkan [18].



Gambar 1. Sistem Kontrol *Open-Loop*.

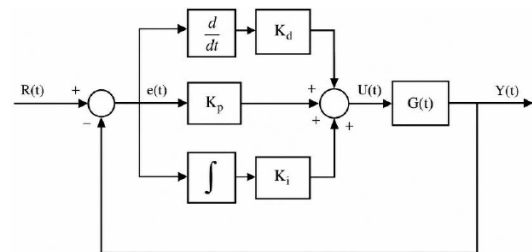


Gambar 2. Sistem Kontrol *Close-Loop*.

2.3 PID Controller

Kontroler *Proportional-Integral-Derivative* (PID) merupakan metode pengendalian umpan balik yang digunakan untuk mengatur sistem agar mencapai nilai referensi (*set point*) secara cepat, stabil, dan akurat [7]. Pengendali PID bekerja dengan menghitung nilai kesalahan (*error*) sebagai selisih antara *set point* (SP) dan variabel proses (*process variable* atau PV), kemudian menghasilkan sinyal kendali

berdasarkan tiga komponen, yaitu proporsional (K_p), integral (K_i), dan derivatif (K_d) [19]. Kombinasi ketiga parameter tersebut bertujuan meminimalkan nilai *error* sehingga sistem mampu mempertahankan keluaran sesuai dengan kondisi yang diinginkan.

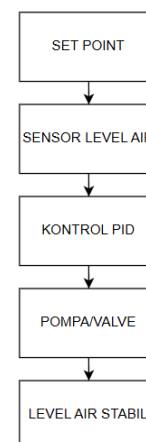


Gambar 3. Sistem Kendali PID.

K_p sebagai penguatan proporsional dan K_i disebut konstanta integral, dan K_d yang ketiganya dapat ditentukan. Tuning PID dapat dilakukan secara manual dengan cara menambahkan gain pada K_p , K_i , dan K_d .

2.4 Kerangka Pemikiran Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua komponen utama, yaitu sensor level air dan pengendali PID. Sensor level air berfungsi mengukur ketinggian air di dalam tangki secara *real-time*, kemudian data tersebut dibandingkan dengan nilai *set point* untuk memperoleh nilai *error*. Selanjutnya, *error* diproses oleh pengendali PID yang menghasilkan sinyal kendali untuk mengatur kerja pompa dan katup (*valve*) sehingga ketinggian air dapat dipertahankan pada kondisi yang diinginkan.



Gambar 4. Alur Kerangka Penelitian.

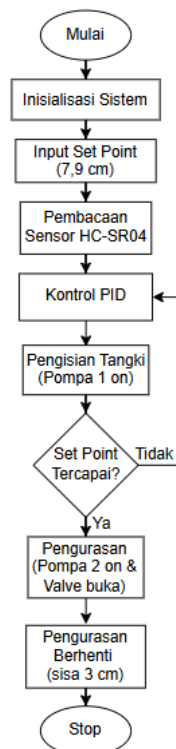
Metode PID digunakan untuk meningkatkan kestabilan level air dengan meminimalkan

error serta mempercepat respons sistem terhadap perubahan kondisi air.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Arsitektur Sistem

Gambar 5 menunjukkan diagram alir sistem pengendalian level air yang menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan metode PID untuk mengatur proses pengisian serta pengurasan tangki secara otomatis berdasarkan nilai *set point* yang telah ditentukan.



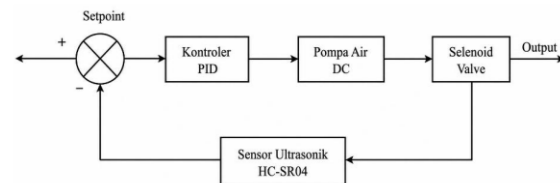
Gambar 5. Arsitektur Pengendalian Level Air.

Berdasarkan diagram alir pada **Gambar 5**, sistem diawali dengan inisialisasi dan penentuan *set point* ketinggian air sebesar 7,9 cm. Sensor HC-SR04 membaca ketinggian air secara real-time, kemudian kontrol PID mengatur pompa pengisian hingga *set point* tercapai. Setelah itu, pompa penguras dan katup (*valve*) diaktifkan hingga tinggi air mencapai 3 cm, kemudian sistem menghentikan proses dan mengakhiri siklus operasi.

3.2 Pengembangan PID Controller

Pengembangan perangkat lunak dilakukan dengan mengimplementasikan Adaptive PID Controller pada ESP32 menggunakan Arduino IDE untuk mengendalikan level air secara

closed-loop. Sistem terdiri atas sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai umpan balik (*feedback*), pengendali PID, pompa air DC sebagai aktuator, dan *solenoid valve*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar X.



Gambar 6. Sistem Kendali Pengendalian Level Air.

Pada sistem ini, nilai *set point* dibandingkan dengan tinggi air aktual yang dibaca sensor HC-SR04 sehingga diperoleh nilai *error*, yang dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$error = setpoint - h(t) \quad (1)$$

Selanjutnya, *error* dinormalisasi menjadi *error ratio* sesuai Persamaan (2).

$$Ratio = \frac{|error|}{\max(setpoint, 1)} \quad (2)$$

Nilai *ratio* digunakan untuk menyesuaikan parameter PID secara adaptif menggunakan Persamaan (3)(4)(5).

$$Kp = 3 + (15 \times ratio) \quad (3)$$

$$Ki = 0,01 + 0,05 \times (1 - ratio) \quad (4)$$

$$Kd = 0,2 + 1,0 \times (1 - ratio) \quad (5)$$

Ketika *error* besar, nilai K_p K_i K_d meningkat untuk mempercepat respon sistem, sedangkan K_i K_d diperkecil guna mengurangi *overshoot*. Sebaliknya, saat *error* mendekati nol, nilai K_i K_d meningkat sehingga pengendalian menjadi lebih halus dan stabil. Keluaran pengendali dihitung menggunakan Persamaan (6).

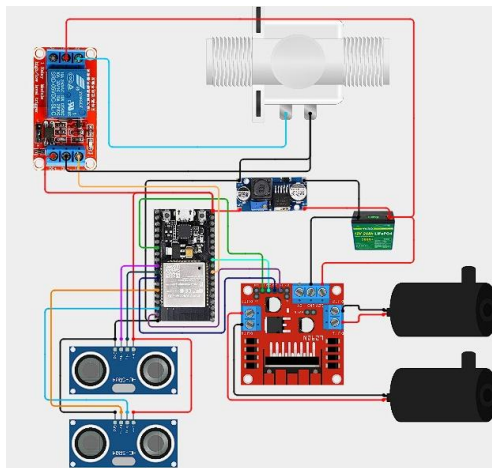
$$u(t) = (Kp \times error) + (Ki \times integral) + (Kd \times derivative) \quad (6)$$

Untuk meningkatkan performa, diterapkan anti-windup pada komponen integral, sedangkan sinyal kendali dikonversi menjadi PWM bertingkat. Pada kondisi *error* besar digunakan PWM tetap untuk mempercepat pengisian, sedangkan ketika mendekati *set point*, PWM mengikuti keluaran PID sehingga

proses pengisian berlangsung lebih halus dan mampu meminimalkan *overshoot*.

3.3 Perancangan Hardware

Gambar 7 memperlihatkan rancangan wiring diagram sistem yang menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali seluruh perangkat. ESP32 bertugas menerima data dari dua sensor ultrasonik HC-SR04, mengolah hasil pembacaan ketinggian air, kemudian mengendalikan aktuator berupa pompa air dan solenoid valve sesuai dengan logika program yang telah dirancang. Selain itu, ESP32 juga menghasilkan sinyal kendali untuk driver motor sehingga proses pengisian dan pengosongan tangki dapat berlangsung secara otomatis.



Gambar 7. Wiring Diagram Pengendalian Level Air.

Sistem menggunakan dua sensor ultrasonik HC-SR04 untuk memantau ketinggian air pada Tangki 1 dan Tangki 2. Sensor pertama terhubung ke pin GPIO 22 (TRIG) dan GPIO 21 (ECHO), sedangkan sensor kedua menggunakan GPIO 18 (TRIG) dan GPIO 5 (ECHO) pada ESP32. Data dari kedua sensor diproses oleh ESP32 sebagai masukan untuk mengendalikan proses pengisian dan pengosongan air secara otomatis.

Pengendalian aktuator dilakukan menggunakan driver motor L298N yang mengontrol Pompa 1 melalui GPIO 23 dan GPIO 19, serta Pompa 2 melalui GPIO 27 dan GPIO 4. Solenoid valve dikendalikan oleh modul relay pada GPIO 25, dengan logika HIGH untuk menutup valve dan LOW untuk membukanya. Catu daya sistem berasal dari baterai 12 V yang diturunkan menjadi 5 V

menggunakan modul LM2596, sedangkan seluruh komponen menggunakan common ground untuk menjaga kestabilan operasi sistem.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Pengujian sensor ultrasonik HC-SR04 dilakukan untuk mengetahui ketelitian sensor dalam mengukur jarak permukaan air. Wadah yang digunakan pada Tangki 1 dan Tangki 2 berupa akuarium berukuran 50 × 30 × 30 cm. Sensor dipasang pada bagian atas akuarium untuk mengukur jarak antara sensor dan permukaan air.

Pengujian dilakukan pada delapan variasi jarak dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap hasil pengukuran menggunakan penggaris. Selisih dan persentase error dihitung menggunakan Persamaan 7.

$$Error = \frac{|nilai\ sensor - ukuran\ tangki|}{ukuran\ tangki} \times 100 \quad (7)$$

Tabel 1. Pengujian Sensor HC-SR04 pada Tangki 1.

No.	Ukuran Tangki	HC-SR04	Error
1.	3cm	3,05cm	1,67%
2.	6cm	5,82cm	3,00%
3.	9cm	9,19cm	2,22%
4.	12cm	11,70cm	2,50%
5.	15cm	15,30cm	2,00%
6.	18cm	17,49cm	2,78%
7.	21cm	21,39cm	1,90%
8.	24cm	23,27cm	3,04%
9.	27cm	27,64cm	2,40%
10.	30cm	29,28cm	2,39%
Rata-Rata			2,39%

Berdasarkan hasil pengujian, sensor ultrasonik HC-SR04 menghasilkan persentase error antara 1,67% hingga 3,04%. Nilai error tertinggi terjadi pada jarak 24 cm, yaitu sebesar 3,04%, sedangkan nilai error terendah terdapat pada jarak 3 cm, yaitu sebesar 1,67%. Dari sepuluh variasi jarak pengujian, diperoleh rata-rata error sebesar 2,39%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor HC-SR04 memiliki tingkat ketelitian yang baik untuk mengukur jarak antara sensor dan permukaan air pada akuarium berukuran 50 × 30 × 30 cm.

Tabel 2. Pengujian Sensor HC-SR04 pada Tangki 2.

No.	Ukuran Tangki	HC-SR04	Error
1.	3cm	3,02cm	0,67%
2.	6cm	5,94cm	1,00%
3.	9cm	9,10cm	1,11%
4.	12cm	11,90cm	0,83%
5.	15cm	15,18cm	1,20%
6.	18cm	17,80cm	1,11%
7.	21cm	21,20cm	0,95%
8.	24cm	23,70cm	1,25%
9.	27cm	27,30cm	1,11%
10.	30cm	29,68cm	1,07%
Rata-Rata			1,03%

Berdasarkan hasil pengujian pada Tangki 2, sensor ultrasonik HC-SR04 menghasilkan nilai error antara 0,67% hingga 1,25%. Nilai error tertinggi terdapat pada jarak 24 cm, yaitu sebesar 1,25%, sedangkan nilai error terendah terdapat pada jarak 3 cm, yaitu sebesar 0,67%. Dari sepuluh variasi jarak pengujian, diperoleh rata-rata error sebesar 1,03%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor HC-SR04 memiliki tingkat ketelitian yang baik untuk mengukur jarak permukaan air pada akuarium berukuran $50 \times 30 \times 30$ cm.

4.2 Pengujian Antara PWM dan Ketinggian Air

Pengujian dilakukan untuk mengidentifikasi respons perubahan ketinggian air pada Tangki 1 terhadap nilai Pulse Width Modulation (PWM) yang diberikan kepada Pompa 1. Hasil pengujian digunakan untuk mengetahui karakteristik kerja pompa sebelum dilakukan analisis terhadap penerapan kontrol PID adaptif.

Pengujian hanya diterapkan pada Pompa 1 karena pompa tersebut berfungsi dalam proses pengisian air dan dikendalikan menggunakan nilai PWM yang berubah sesuai kondisi sistem. Sementara itu, Pompa 2 digunakan untuk proses pengosongan tangki dengan kecepatan tetap pada PWM 255 sehingga tidak termasuk dalam pengendalian PID. Hasil pengujian hubungan antara nilai PWM dan ketinggian air disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 3. Hasil Pengujian PWM Berdasarkan Ketinggian Air.

No.	Nilai PWM	Ketinggian Air
1.	255	0,00cm
2.	255	0,63cm
3.	255	1,68cm
4.	255	2,47cm
5.	240	3,69cm
6.	225	4,18cm
7.	225	4,74cm
8.	205	5,43cm
9.	195	6,21cm
10.	195	6,88cm
11.	190	7,59cm
12.	0	8,05cm

**Gambar 8.** Grafik Respon PWM.

Berdasarkan Tabel 4.5 dan Gambar 4.5, nilai PWM menurun secara bertahap seiring meningkatnya level air pada Tangki 1. Pada tahap awal, PWM 255 digunakan untuk menghasilkan debit maksimum karena selisih antara level aktual dan setpoint masih besar. Setelah level air meningkat, nilai PWM diturunkan dari 240 hingga 190 untuk memperlambat laju pengisian.

Saat level air mencapai sekitar 8,05 cm, nilai PWM menjadi 0 sehingga pompa berhenti bekerja. Pola ini menunjukkan bahwa kontrol PID adaptif mampu menyesuaikan kecepatan pompa berdasarkan besar error. Strategi tersebut mempercepat proses pengisian pada tahap awal sekaligus mengurangi risiko *overshoot* ketika level air mendekati *setpoint*.

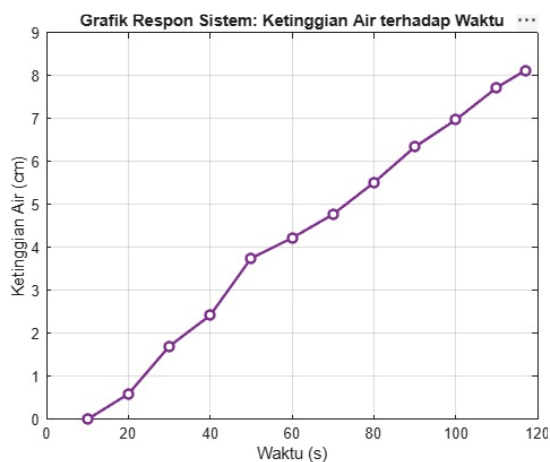
4.3 Pengujian Kontrol PID

Pengujian ini dilakukan untuk mengamati perubahan parameter K_p , K_i , dan K_d secara real-time selama proses pengisian Tangki 1 berlangsung, menggunakan data yang diperoleh

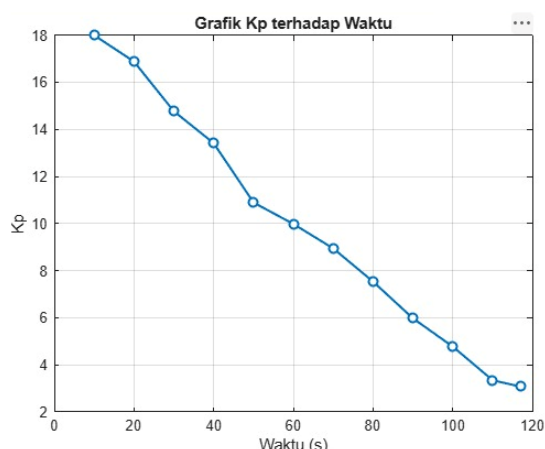
dari Serial Monitor ESP32. Hasil pengujian disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Pengujian PID Adaptif Proses Pengisian.

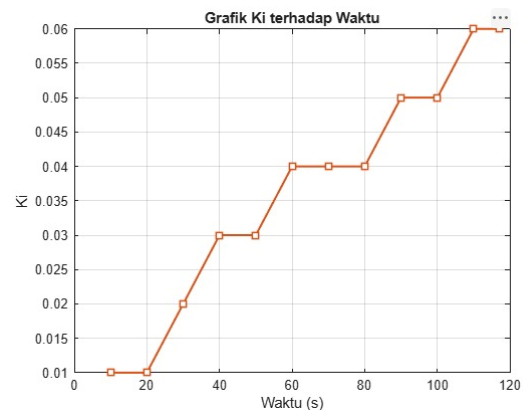
Waktu (s)	Level Air	Konstanta Kendali			PWM
		Kp	Ki	Kd	
10	0cm	18	0,01	0,2	255
20	0,59cm	16,88	0,01	0,27	255
30	1,7cm	14,77	0,02	0,42	255
40	2,42cm	13,41	0,03	0,51	255
50	3,75cm	10,89	0,03	0,67	240
60	4,22cm	9,98	0,04	0,73	220
70	4,77cm	8,94	0,04	0,8	220
80	5,51cm	7,53	0,04	0,9	200
90	6,34cm	5,97	0,05	1	190
100	6,97cm	4,77	0,05	1,08	190
110	7,72cm	3,34	0,06	1,18	190
117	8,12cm	3,07	0,06	1,2	0



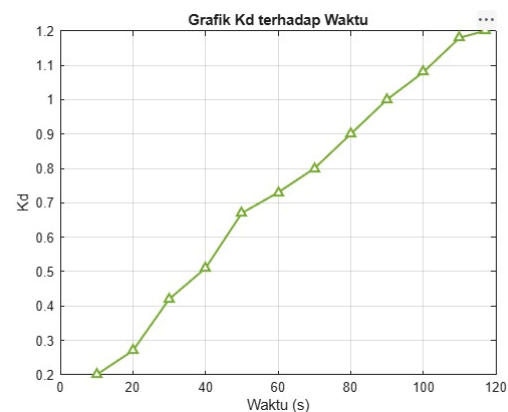
Gambar 9. Grafik Respon Level Air terhadap Waktu.



Gambar 10. Grafik Nilai Kp.



Gambar 11. Grafik Nilai Ki.



Gambar 12. Grafik Nilai Kd.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa adaptive PID mampu menyesuaikan parameter kontrol secara dinamis selama proses pengisian air. Pada kondisi awal, error sebesar 7,90 cm menghasilkan nilai Kp tertinggi (18,00) dengan keluaran PWM maksimum (255) sehingga pompa bekerja pada kecepatan penuh untuk mempercepat kenaikan level air. Seiring meningkatnya ketinggian air, error berangsur menurun hingga 0,04 cm, diikuti penyesuaian parameter kontrol, yaitu Kp menurun menjadi 3,07 untuk mengurangi overshoot, Ki meningkat dari 0,01 menjadi 0,06 guna meminimalkan *steady-state error*, dan Kd bertambah dari 0,20 menjadi 1,20 untuk meredam osilasi saat mendekati setpoint.

Sistem mencapai kondisi tunak pada detik ke-117, ketika ketinggian air mencapai 8,12 cm, sedikit melampaui setpoint 8,0 cm. Pada kondisi tersebut, nilai PWM turun menjadi 0, menandakan pompa berhenti secara otomatis. Hasil ini menunjukkan bahwa metode adaptive PID mampu mengoptimalkan respons sistem

melalui penyesuaian parameter secara real-time, sehingga proses pengisian berlangsung cepat, stabil, dan menghasilkan kesalahan akhir (*steady-state error*) yang rendah.

Tabel 5. Pengujian Proses Pengosongan.

Waktu (s)	Ketinggian Air Tangki 1 (cm)	Konstanta Kendali			PWM
		Kp	Ki	Kd	
10	7,07	0	0	0	0
20	6,15	0	0	0	0
30	5,63	0	0	0	0
40	5,36	0	0	0	0
50	4,72	0	0	0	0
60	3,92	0	0	0	0
73	2,93	0	0	0	0

Tabel 5 menunjukkan bahwa pada tahap pengosongan, parameter Kp, Ki, Kd, dan keluaran PWM Pompa 1 bernilai 0 karena proses ini tidak menggunakan pengendali PID. Pengosongan air sepenuhnya dikendalikan secara on/off melalui aktivasi Pompa 2 dan Valve V2. Selama 73 detik pengujian, ketinggian air pada Tangki 1 menurun secara bertahap dari 7,07 cm menjadi 2,93 cm, menunjukkan bahwa mekanisme pengosongan berlangsung stabil dan konsisten hingga mencapai level yang ditentukan.

4.4 Analisis Hasil Pengujian

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 memiliki akurasi yang baik dalam mengukur ketinggian air, dengan rata-rata error sebesar 2,39% pada Tangki 1 dan 1,03% pada Tangki 2. Tingkat akurasi tersebut memastikan data level air yang diterima ESP32 cukup andal sebagai masukan bagi sistem pengendalian, sehingga proses pengisian dan pengosongan dapat berjalan secara otomatis sesuai kondisi aktual.

Pada proses pengisian, adaptive PID mampu menyesuaikan parameter Kp, Ki, dan Kd secara real-time berdasarkan perubahan error. Nilai PWM diberikan maksimum pada awal pengisian untuk mempercepat kenaikan level air, kemudian diturunkan secara bertahap ketika level mendekati setpoint sehingga laju aliran air menjadi lebih halus. Sistem mencapai setpoint 8 cm dalam 117 detik dengan ketinggian akhir 8,12 cm, menunjukkan respons yang cepat, stabil, dan menghasilkan overshoot yang rendah.

Pada tahap pengosongan, algoritma PID tidak digunakan karena proses dikendalikan secara on/off melalui Pompa 2 dan solenoid valve. Kombinasi strategi kendali ini mampu menjaga level air secara otomatis selama siklus operasi fish counter, sehingga kondisi permukaan air tetap stabil, mengurangi gangguan pada proses akuisisi citra, dan mendukung peningkatan akurasi sistem penghitungan benih ikan.

5. KESIMPULAN

- Sistem pengendalian level air berbasis adaptive PID berhasil diimplementasikan pada alat fish counter menggunakan ESP32, sensor ultrasonik HC-SR04, driver motor L298N, dan pompa air. Sensor HC-SR04 menunjukkan performa pengukuran yang baik dengan rata-rata error sebesar 2,39% pada Tangki 1 dan 1,03% pada Tangki 2, sehingga mampu menyediakan data level air yang andal untuk proses pengendalian otomatis.
- Metode adaptive PID mampu menyesuaikan parameter Kp, Ki, dan Kd secara real-time berdasarkan perubahan error. Sistem berhasil mencapai setpoint 8 cm dalam waktu 117 detik dengan ketinggian akhir 8,12 cm, menghasilkan respons yang stabil, overshoot yang rendah (1,5%), serta mampu mengatur kecepatan pompa secara bertahap melalui perubahan nilai PWM.
- Integrasi pengendalian adaptive PID pada proses pengisian dan metode on/off pada proses pengosongan mampu menjaga kestabilan level air selama siklus kerja fish counter. Kondisi ini membantu mengurangi gangguan akibat fluktuasi permukaan air sehingga mendukung proses akuisisi citra dan meningkatkan keandalan sistem penghitungan benih ikan.
- Keterbatasan penelitian ini adalah pengujian masih dilakukan pada skala laboratorium dengan satu nilai setpoint dan kondisi lingkungan yang relatif terkendali. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan menguji sistem pada berbagai variasi setpoint, volume tangki, dan debit pompa, serta mengintegrasikan sistem dengan algoritma deep learning untuk mengevaluasi pengaruh kestabilan level air terhadap akurasi deteksi dan penghitungan benih ikan secara real-time.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Sriwijaya atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada Dewan Redaksi Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET) atas kesempatan yang diberikan untuk mempublikasikan hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Liu, X. Yu, and J. Tang, "Water-saving control system based on multiple intelligent algorithms," vol. 8, no. 2024, 2025.
- [2] E. Yumuk, C. Copot, and C. I. Muresan, "A Novel Approach to Robust PID Autotuner for Overdamped Systems : Case Study on Liquid Level System," pp. 1–25, 2024.
- [3] M. Izzat, W. A. Jabbar, and N. Sulaiman, "Internet of Things and Cyber-Physical Systems Development of a smart sensing unit for LoRaWAN-based IoT flood monitoring and warning system in catchment areas," *Internet Things Cyber-Physical Syst.*, vol. 3, no. December 2022, pp. 249–261, 2023, doi: 10.1016/j.iotcps.2023.04.005.
- [4] Z. Saleh and K. Sahal, "Implementation of Embedded PID Controller to Water Level Control System," vol. 4, no. 6, pp. 398–406, 2024.
- [5] M. F. Naqi and M. Jannah, "Sistem PID untuk Pengaturan Aliran Air pada Dua Tangki Penampungan The PID System for Water Flow Control in Two Storage Tanks," vol. 6, no. May, 2025.
- [6] P. Mohindru, "Review on PID , fuzzy and hybrid fuzzy PID controllers for controlling non-linear dynamic behaviour of chemical plants," 2024.
- [7] A. H. Bashiri, "Heliyon Empirical study of robust / developed PID control for nonlinear time-delayed dynamical system in discrete time domain," *Heliyon*, vol. 10, no. 9, p. e29749, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e29749.
- [8] Lebang, "Optimalisasi Sistem Pengisian Air Otomatis Menggunakan," vol. 6, no. 2, pp. 71–76, 2025.
- [9] L. A. Pratita, S. Nurcahyo, and H. K. Safitri, "Sistem Monitoring dan Kontrol Level Air pada Pengelolaan Sumber Daya Air Menggunakan Kontrol PID," vol. 3, no. 3, pp. 132–141, 2024.
- [10] S. Nasional, T. Riset, I. P. Series, and S. Vol, "(3) 1,2,3," vol. 10, no. 1, pp. 354–362, 2024.
- [11] E. H. Karam, Y. A. Mohammed, and N. N. Kadhim, "Controlling Water Level By Using Modified Model Free Adaptive Controller," vol. 27, no. 03, 2023.
- [12] A. Primagani, Z. Afnan, F. R. Husna, And E. N. Firdausi, "Kontrol Level Ketinggian Air Tandon Penguin 1500 Liter Menggunakan Matlab," Vol. 13, No. 3, Pp. 229–237.
- [13] S. M. Malakouti, M. B. Menhaj, and A. A. Suratgar, "MethodsX Machine learning techniques for classifying dangerous asteroids," vol. 11, no. May, 2023, doi: 10.1016/j.mex.2023.102337.
- [14] M. Keikha, A. Darzi-naftchali, A. Motevali, and M. Valipour, "Results in Engineering Life cycle assessment and synergistic effects of sustainable strategies to improve environmental sustainability in arid climates," *Results Eng.*, vol. 24, no. October, p. 103352, 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.103352.
- [15] M. Krichen, M. S. Abdalzaher, M. Elwekeil, and M. M. Fouda, "Internet of Things and Cyber-Physical Systems Managing natural disasters : An analysis of technological advancements , opportunities , and challenges," *Internet Things Cyber-Physical Syst.*, vol. 4, no. September 2023, pp. 99–109, 2024, doi: 10.1016/j.iotcps.2023.09.002.
- [16] A. Gao and X. Cui, "Active Disturbance Rejection Control Design with Sensitivity Constraint for Drum Water Level," 2024.
- [17] B. Yesil, "Real-Time Implementation of a Microcontroller-Based Coupled-Tank Water Level Control System with Feedback Linearization and Fuzzy Logic Controller Algorithms," 2025.
- [18] N. Husnina, M. Ali, R. Ghazali, H. I. Jaafar, and M. F. Ghani, "Comparison Study between Open-Loop and Closed-Loop Identification for Industrial Hydraulics Actuator System," vol. 13, no. 5, pp. 516–521, 2024, doi: 10.18178/ijmerr.13.5.516-521.
- [19] K. J. Jenisha, C. Kalaivani, M. R. M. Devi, D. Sindhuja, and K. Poonkodi, "Investigating PID Controller Effectiveness : An Extensive Analysis and Wide-ranging Uses," vol. 6, no. 2, pp. 116–132.