

Sistem Kendali Single *Input-Multi Output* Ketinggian Air Bendungan Menggunakan Metode PID

Ainil Syafitri^{1*}, S.A Wibowo², M. Rayhan Zaki³

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

Correspondence: Ainil Syafitri (ainils76@gmail.com)

Received: 01 July 2025 – Revised: 30 July 2025 - Accepted: 30 Aug 2025 - Published: 30 Sept 2025

Abstrak.

Dengan meninjau banyaknya manfaat dari bendungan, jika dalam pengelolaan terjadi keteledoran, maka akan menimbulkan permasalahan yang besar bahkan bencana seperti yang sering terjadi saat ini yaitu banjir. Hal ini menjadi permasalahan serius yang harus segera ditangani. Salah satu Upaya yang dapat dilakukan adalah memasang sistem kontrol pada bendungan. Sistem ini akan mengontrol ketinggian air bendungan menggunakan metode PID, dengan menggunakan sensor ultrasonik sebagai pengukur ketinggian air dan servo sebagai aktuator penggerak keran air. Nilai *setpoint* diinput menggunakan keypad dengan nilai sesuai *set point*. Kemudian nilai tersebut akan dibaca oleh sensor ultrasonic dan dikirimkan ke arduino uno sehingga mengukur ketinggian air. Arduino uno berfungsi sebagai otak pengendali yang menerima sinyal dari keypad dan sensor ultrasonic dan mengontrol sudut motor servo serta mengatur tampilan pada LCD. Output pengendali keran air dilakukan oleh motor servo untuk mendapatkan ketinggian air sesuai dengan *set point*. Hasil dari pembacaan sensor beserta nilai set point akan muncul pada LCD. Berdasarkan pengujian dan analisis yang dilakukan, dengan menggunakan Tuning Ziegler-Nichols. Pengendalian ketinggian air bendungan menggunakan 1 input sensor Ultrasonic dan output 2 motor servo diperoleh nilai Kp (78,51), Ki (28,04) dan Kd (54,96). Pengujian dengan metode tanpa PID, Ketinggian air tidak bisa mencapai Setpoint dan membutuhkan waktu 93 detik mencapai ketinggian stabil di 15 cm. Sedangkan dengan metode PID ketinggian air yang di peroleh akan stabil setelah menyentuh nilai Setpoint dalam waktu 110 detik. Respon system menjadi lebih stabil jika menggunakan 2 output pintu air dengan menggunakan metode PID.

Kata kunci: PID, Kendali Level Air, Ultrasonic, Servo

PENDAHULUAN

Pengendalian ketinggian air pada bendungan merupakan aspek fundamental dalam sistem manajemen sumber daya air modern. Menurut penelitian (Zhang, (2021).) Fluktuasi level air yang tidak terkendali dapat menyebabkan berbagai masalah operasional mulai dari ketidakstabilan pasokan air hingga risiko kelebihan beban (overflow) yang membahayakan. Sistem kendali konvensional berbasis Single Input-Single Output (SISO) yang banyak diaplikasikan saat ini menunjukkan berbagai keterbatasan dalam menangani dinamika kompleks sistem bendungan(Park, (2020)) Perkembangan terbaru dalam bidang sistem kendali menunjukkan bahwa pendekatan Single Input-Multi Output (SIMO) menawarkan solusi yang lebih komprehensif. Seperti diungkapkan dalam penelitian (Chen, (2022)) arsitektur SIMO memungkinkan pengendalian beberapa variabel keluaran secara simultan melalui satu variabel masukan utama. Hal ini terutama relevan untuk sistem bendungan dimana diperlukan koordinasi antara berbagai aktuator seperti pintu air, pompa, dan saluran pembuangan. Algoritma PID tetap menjadi pilihan utama dalam implementasi sistem kendali industri karena reliabilitas dan kemudahan implementasinya(Vazquez, (2021)) Namun, penerapannya pada sistem SIMO memerlukan pendekatan khusus dalam penentuan parameter, sebagaimana dijelaskan dalam studi(Tanaka, (2020)) tentang teknik tuning untuk sistem multivariabel. Optimasi parameter PID menjadi faktor kritis dalam mencapai performa sistem yang diharapkan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem kendali SIMO-PID untuk aplikasi pengendalian ketinggian air bendungan. Fokus utama adalah pada penentuan parameter optimal dan evaluasi performa sistem dalam berbagai kondisi operasional, termasuk respon terhadap perubahan setpoint dan gangguan eksternal.

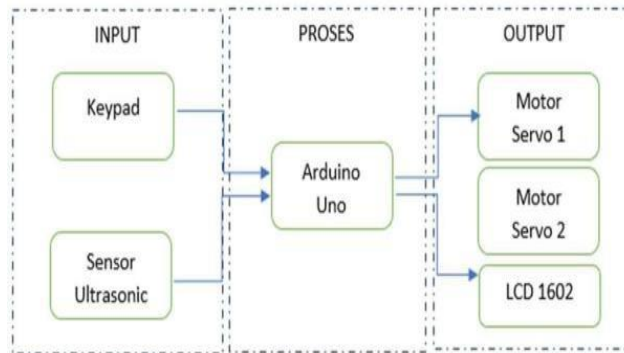
MASALAH

Implementasi sistem SIMO-PID pada pengendalian bendungan menghadapi beberapa tantangan teknis utama. Pertama, kompleksitas interaksi dinamis antara multiple aktuator (pintu air dan pompa) memerlukan strategi koordinasi yang canggih, sebagaimana diidentifikasi dalam penelitian(Kim, (2023)). Kedua, metode tuning parameter PID konvensional tidak selalu efektif untuk sistem SIMO, terutama dalam menangani gangguan stokastik seperti perubahan debit air masuk yang tiba-tiba(Sharma, (2022)). Permasalahan spesifik yang akan diatasi dalam penelitian ini meliputi: (1) penentuan parameter PID optimal untuk sistem SIMO bendungan, (2) evaluasi performa sistem dengan dan tanpa PID, serta (3) validasi efektivitas konfigurasi SIMO dalam

menjaga ketinggian air. Tantangan utamanya adalah mencapai kestabilan sistem yang cepat dengan overshoot minimal dalam kondisi operasional nyata

METODE PELAKSANAAN

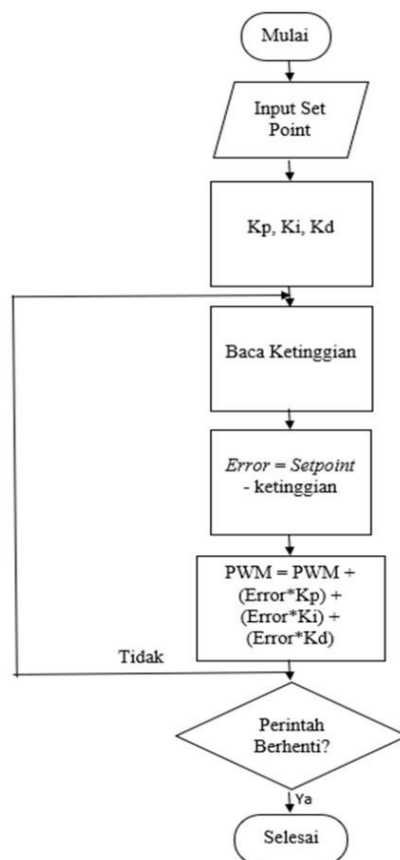
Perancangan sistem elektronik yang akan dilakukan dapat digambarkan oleh diagram alur berikut:



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

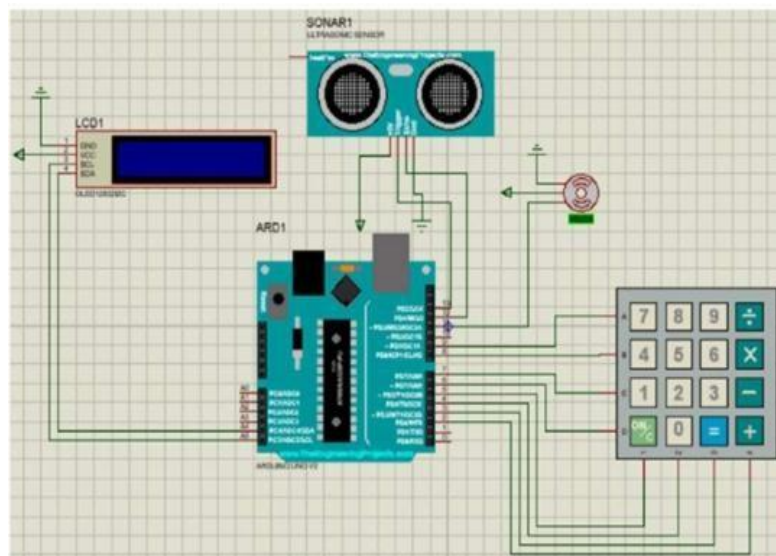
Diagram Alir Sistem

Diagram alir merupakan diagram yang mewakili algoritma yang akan menampilkan langkah- langkah dalam bentuk sinyal grafis. Berikut ini merupakan diagram alir dari sistem yang akan dirancang yang ditampilkan pada gambar 2



Gambar 2. Diagram Alir Sistem

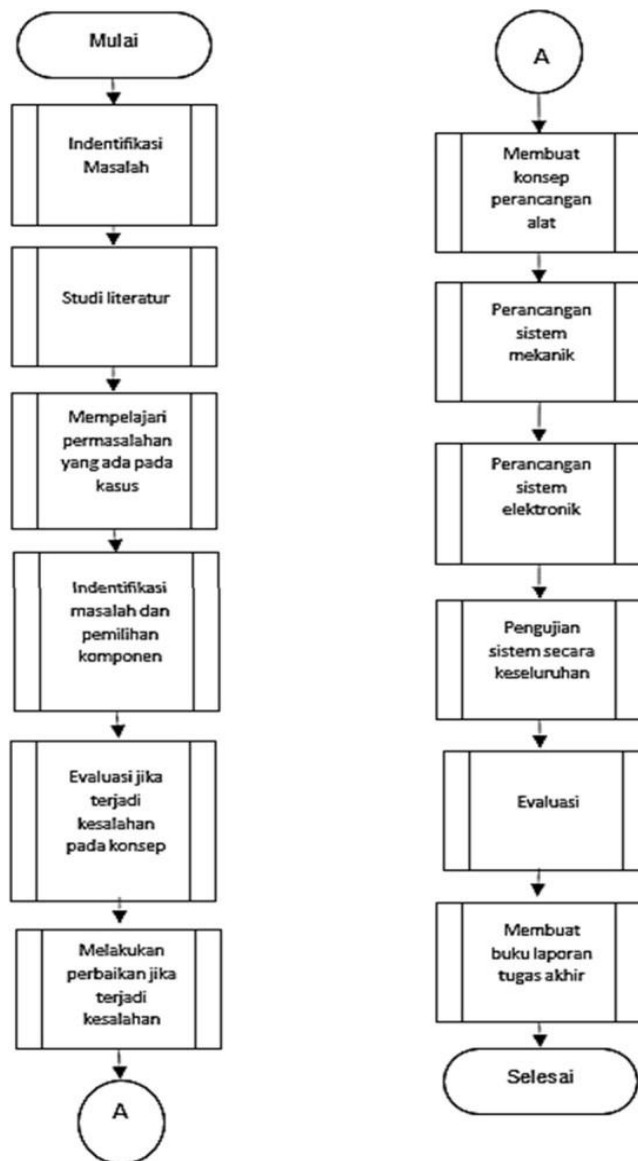
Pada perancangan alat ini dilakukan menggunakan kabel pelangi sebagai penghubung antar komponennya dengan menggunakan catu daya 12V 1A yang berfungsi sebagai sumber power Arduino Uno. Dan power supply 5V 20A sebagai sumber power untuk motor servo, display LCD, dan sensor ultrasonic. Modul Arduino Uno sebagai otak kendali dari perancangan alat ini yang berfungsi sebagai membaca sensor ultrasonic sebagai pendeteksi ketinggian Air, dan input set point dari keypad. Output pada sistem ini adalah motor servo sebagai penggerak keran air, LCD Display untuk menampilkan nilai set point, nilai sudut servo dan nilai level ketinggian air. Rangkaian skematiknya bisa dilihat pada gambar 3 dibawah.



Gambar 3. Skematik Perancangan Sistem

Metodologi Perancangan Sistem

Pada tahapan pembuatan perancangan sistem digunakan beberapa tahap, dimulai dengan studi literatur, dimana pada tahap ini dicari beberapa referensi untuk dijadikan ide perancangan yang akan dibuat nanti. Kemudian menentukan konsep pada perancangan alat, dimana dengan referensi yang di baca mendapatkan gambaran konsep untuk perancangan alat yang akan dilakukan nanti. Dalam perancangan sistem mekanik, dilakukan pemilihan komponen dan bahan yang akan digunakan untuk perancangan. Namun pada perancangan sistem elektronik, dilakukan perakitan sistem kelistrikan pada tiap masing-masing komponen yang digunakan agar sesuai dengan konsep awal.



Gambar 4. Diagram Alir Metodologi Perancangan Sistem

Metodologi Perancangan Mekanik

Pada tahapan perancangan mekanik langkah awal yang dilakukan adalah dengan menentukan dimensi untuk wadah yang akan digunakan dan mengukur posisi yang tepat untuk keran air serta menentukan ketinggian dari sensor ultrasonic agar tidak terkena cipratan air dan agar pembacaannya lebih akurat. Selanjutnya menentukan material yang akan digunakan untuk wadah dan keran air. Memilih keran air yang sesuai, yaitu dengan mekanisme yang tidak keras agar torsi motor servo mampu memutar keran air.

Berikut merupakan tabel dimensi dari rancangan alat pengontrol ketinggian air:

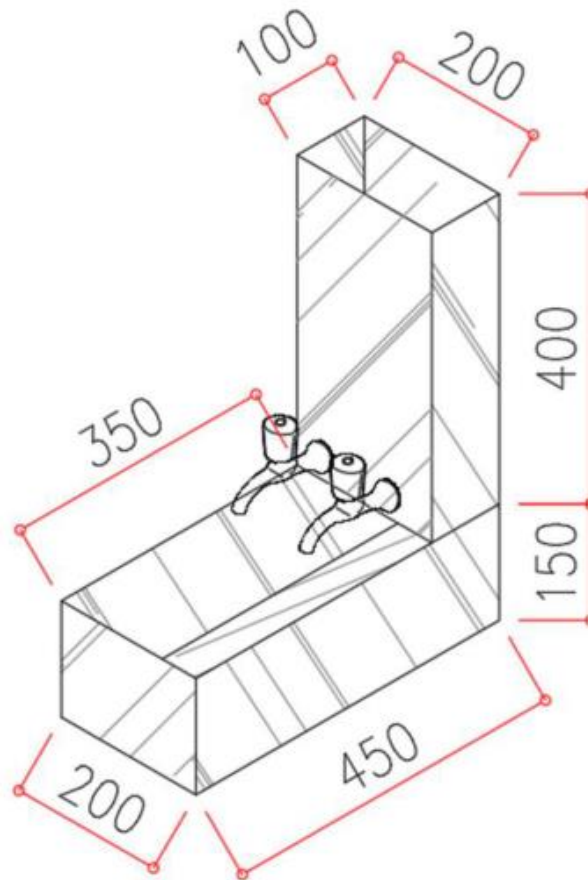
Tabel 1: Dimensi Wadah Tabung

Dimensi Box 1	Ukuran Box
Tinggi Box (<i>front view scale</i>)	40 cm
Lebar Box (<i>top view scale</i>)	20 cm
Panjang Box (<i>left&right view scale</i>)	10 cm
Tinggi Box (<i>front view scale</i>)	15 cm
Lebar Box (<i>top view scale</i>)	20 cm
Panjang Box (<i>left &right view scale</i>)	45 cm

Komponen-komponen yang digunakan pada perancangan sistem yang akan ditampilkan pada tabel 3.6.

Tabel 2:Spesifikasi Sistem Perancangan Alat

No	Alat	Jumlah	Keterangan
1	Wadah air	1	Penampung air
2	Keran air	2	Mengalirkan air
3	Arduino Uno	1	Pengendali Mikro
4	Sensor Ultrasonic	1	Mengukur ketinggian
5	Keypad Membrane matrik	1	Input set point
6	Servo MG-995	2	Penggerak kran air
7	LCD 1605	1	Penampil data



Gambar 5. Rancangan Mekanis Alat.

Pada gambar diatas, bisa dihitung volume untuk Bak Utama adalah $10 \times 20 \times 40 = 8000 \text{ cm}^3$ atau sama dengan 8 liter, Volume Bak Penampungan adalah $45 \times 20 \times 15 = 13.500 \text{ cm}^3$ atau sama dengan 13,5 liter.

Prinsip Kerja Alat

Sistem ini menggunakan keypad untuk memasukan nilai setpoint ketinggian air sesuai dengan yang diinginkan, sensor ultrasonic tipe HC- SR04 untuk mengukur ketinggian air dan mengirim sinyal ke Arduino uno, ketinggian air bendungan akan dibaca secara terus menerus dan arduino uno mengontrol bukaan motor servo untuk menutup dan membukan keran air agar aliran air bisa di atur sehingga ketinggian air bisa sesuai dengan set point yang sudah diinput. Nilai set poin, nilai ketinggian air dan nilai sudut motor servo akan di kirim oleh arduino uno ke LCD display untuk ditampilkan.

Perhitungan nilai keluaran dari arduino ke motor servo menggunakan metode PID Kontrol dengan mengurangi nilai set point dari Keypad dengan nilai pembacaan ketinggian dari sensor ultrasonic, selisih antara setpoint dengan ketinggian aktual disebut error, nilai error akan di kalkulasi dengan konstanta P, I, dan D kemudian dijumlahkan sehingga bisa menghasilkan keluaran untuk mengatur bukaan keran air melalui penggerak motor servo.

Tunning Ziegler-Nichols

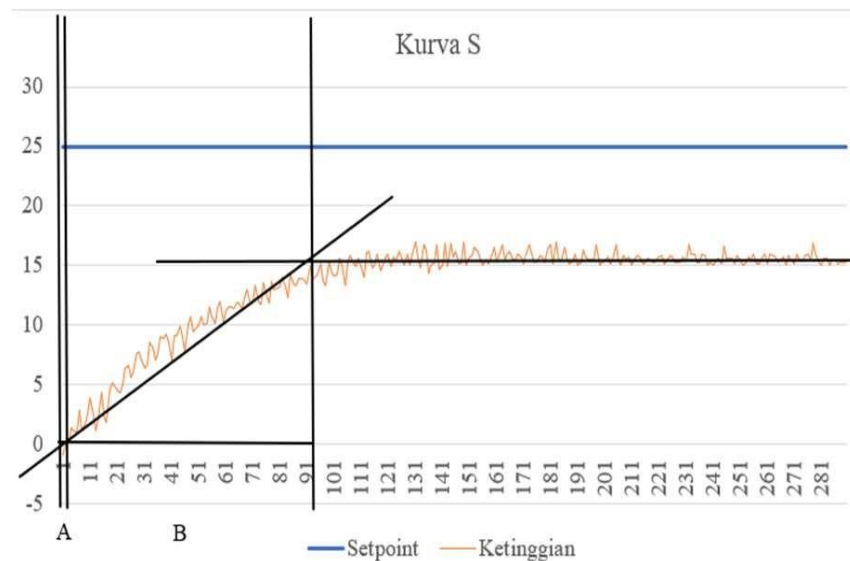
Ziegler dan Nichols menemukan metode tuning rule pertama tahun 1942, tuning rule digunakan untuk mendapatkan nilai Konstanta P, nilai Konstanta I dan nilai Konstanta D untuk mendapatkan parameter yang tepat. Tabel formula Ziegler-Nichols bisa dilihat pada tabel 3.7..

Tabel 3Tabel Formula Ziegler- Nichols

Pengendali	Kp	Ti	Td
P	T/L	~	0
PI	0,9.T/L	L/0,3	0
PID	1,2.T/L	2L	0,5L

HASIL DAN PEMBAHASAN

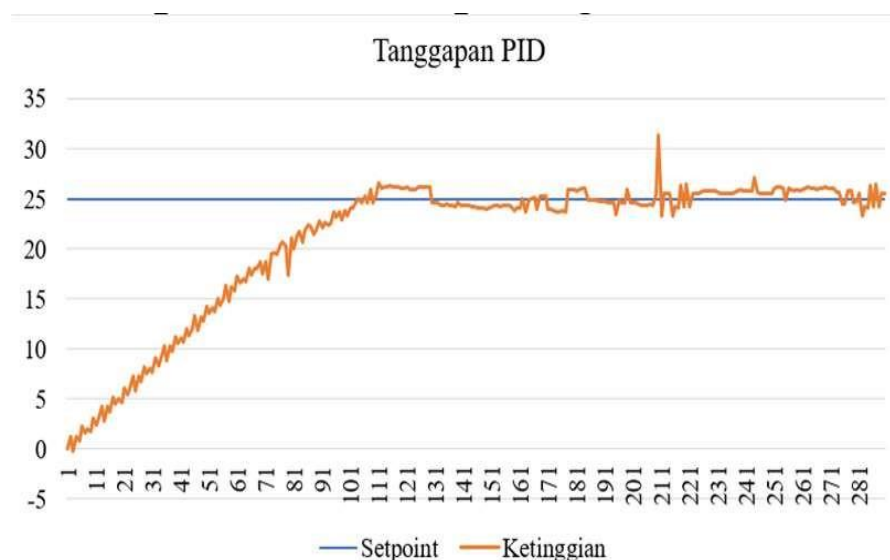
Untuk mendapatkan perbandingan antara metode PID dengan tanpa metode PID, dilakukan pengujian tanpa PID dengan melakukan pengujian menggunakan Tunning Ziegler-Nichols bertujuan untuk memperoleh nilai parameter Kp, nilai parameter Ti, nilai parameter Td, nilai parameter Ki dan nilai parameter Kd. Menentukan parameter kendali PID untuk plant yang tidak diketahui model matematisnya dapat menerapkan tuning Ziegler-Nichols. Dengan memasukan nilai $K_p = 0$, $K_i = 0$ dan $K_d = 0$ akan diperoleh nilai tabel dan kurva untuk menentukan nilai Kp, Ti, Td, Ki dan Kd. Dengan mengambil data dari Serial Monitor pada Arduino IDE pada saat melakukan simulasi tuning Ziegler-Nichols di dapatkan tabel hasil pengujian menggunakan Tunning Ziegler-Nichols bisa dilihat dari tabel 3. Data pada tabel dibuat menjadi kurva S untuk mendapatkan nilai parameter Kp, nilai parameter Ki dan nilai parameter Kd. Kurva yang terbentuk bisa dilihat pada gambar 6



Gambar 6. Kurva S *tuning* Ziegler- Nichols

Pengujian Tanggapan Kendali PID

Pada pengujian kendali PID, dimasukan nilai K_p , K_i dan K_d sesuai dengan hasil yang diperoleh dari Tuning Ziegler-Nichols. Setelah memasukan nilai parameter sesuai pengujian sebelumnya, langkah selanjutnya melakukan simulasi dengan menjalankan sistem dengan memasukan nilai Setpoint 25 cm untuk menghitung waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai ketinggian yang diinginkan sekaligus untuk melihat kestabilan air pada saat sudah berada pada ketinggian yang diinginkan seperti terlihat pada gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Kurva Tanggapan Kendali PID

Untuk mendapatkan perbandingan antara metode PID dengan tanpa metode PID,

dilakukan pengujian tanpa PID terlebih dahulu. Pengujian dilakukan menggunakan metode Tuning Ziegler-Nichols yang bertujuan untuk memperoleh nilai parameter K_p , T_i , T_d , K_i dan K_d . Penentuan parameter kendali PID untuk sistem yang tidak diketahui model matematisnya dapat dilakukan dengan Tuning Ziegler-Nichols. Nilai awal dimasukkan dengan $K_p = 0$, $K_i = 0$ dan $K_d = 0$ untuk mendapatkan kurva S dari data yang ditampilkan di Serial Monitor Arduino IDE. Dari kurva tersebut ditentukan parameter PID optimal. Selanjutnya dilakukan pengujian kendali PID dengan nilai K_p , K_i , dan K_d yang diperoleh dari metode tuning. Pengujian dilakukan dengan nilai setpoint ketinggian air sebesar 25 cm. Hasil pengujian menunjukkan waktu pencapaian kestabilan dan tanggapan sistem terhadap kendali PID. Dibandingkan dengan sistem tanpa PID yang memerlukan waktu 93 detik untuk mencapai ketinggian stabil di 15 cm, sistem dengan PID mencapai setpoint 25 cm dalam 110 detik dan menunjukkan kestabilan sistem yang lebih baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Nilai parameter PID (K_p , K_i , dan K_d) dapat ditentukan menggunakan metode Tuning Ziegler- Nichols.
2. Sistem pengendalian ketinggian air bendungan menggunakan 1 input sensor ultrasonik dan 2 output motor servo diperoleh nilai optimal $K_p = 78,51$; $K_i = 28,04$; dan $K_d = 54,96$.
3. Sistem tanpa PID tidak mampu mencapai nilai setpoint dan kurang stabil, sedangkan sistem dengan metode PID mampu mengatur aliran air secara optimal dan mencapai nilai setpoint dengan waktu yang relatif lebih singkat dan kestabilan lebih baik.
4. Sistem kendali dengan metode PID dan konfigurasi single input-multi output terbukti efektif dalam menjaga ketinggian air bendungan sesuai dengan kebutuhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Pancasila atas semua dukungan moril dan materiil

Daftar Pustaka

- Chen. ((2022)). SIMO applications in water management. *IEEE Transactions on Control Systems*, 30(2), 456-468.
- Kim. ((2023)). "Actuator coordination in dam systems". *Mechatronics*, 75, 102-115.
- Park, L. ((2020)). SISO vs MIMO in hydraulic systems. In *Control Engineering Practice*, 88, 104-115.
- Sharma, G. ((2022)). "Robust PID for stochastic systems". *ISA Transactions*, 118, 245-258.
- Tanaka. ((2020)). "PID tuning for MIMO systems". *Journal of Process Control*, 85, 78-91.
- Vazquez, R. ((2021)). "Modern PID implementations". *International Journal of Control*, 94(5), 1234-1247.
- Zhang, e. a. ((2021).). "Advanced dam water level control systems". *IEEE Trans. on Control Systems*.