

Penerapan Kontroler PID pada Sistem Kendali Level Cairan dengan Metode Ziegler-Nichols Berbasis Arduino

Arief Adhiksana¹, Prihadi Murdiyati², Abdul Rahman³, Anisa Cahyani Fitri⁴, Bayu Prayoga⁵, Andi Jumardi⁶, Eka Megawati⁷, Yuniarti⁸

^{1,4,5}Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda

^{2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

⁶Jurusan Teknik Perminyakan, SST Migas Balikpapan

^{7,8}Jurusan Teknik Pengolahan Migas, SST Migas Balikpapan
adhiksana@polnes.ac.id

Abstrak— Air merupakan elemen esensial dalam sektor industri dan rumah tangga. Untuk meningkatkan kuantitas dan kualitas produksi dalam suatu industri, diperlukan sistem otomasi yang tepat dan andal. Salah satu sistem instrumen yang dapat diterapkan adalah sistem pengatur ketinggian air pada tangki. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat simulasi pengendalian ketinggian air dalam tangki menggunakan sensor ultrasonik berbasis Arduino Uno R3 serta menerapkan tipenya. Kontrol proporsional (P), integral proporsional (PI), dan turunan integral proporsional (PID) serta pemahaman mengenai respons terhadap jenis kontrol ini. Langkah-langkah penelitian mencakup proses pembuatan dan pengujian alat. Penyetelan parameter kontrol dilakukan dengan menggunakan metode Ziegler Nichols-1. Pengujian alat dilakukan pada posisi tetap 10 cm dengan bukaan katup 100% aliran tangki, serta variasi parameter Kp (266 dan 285) pada pengontrol tipe P, Kp (18.1 dan 19.1) dan Ki (1.9) pada kontroler tipe PI, serta Kp (24.8), Ki (2.4), dan Kd (0.6 dan 1.2) pada kontroler tipe PID. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi optimal untuk kontroler tipe P adalah Kp = 285, untuk kontroler tipe PI adalah Kp = 19.1 dan Ki = 1.9, dan untuk kontroler tipe PID adalah Kp = 24.8, Ki = 2.4, dan Kd = 1.2. Respon dari hasil pengujian ini dapat mencapai kondisi ideal, yaitu respon teredam kritis.

Kata kunci: Kendali PID, Ziegler-Nichols, Sensor Ultrasonik.

I. PENDAHULUAN

Pengendali PID telah banyak diterapkan dalam industri selama beberapa tahun terakhir, memberikan respons yang cepat meskipun sering kali mengalami overshoot yang signifikan. Hal ini juga berlaku ketika menerapkan kendali PID klasik pada pengaturan ketinggian cairan [1]. Parameter kendali PID umumnya tetap selama operasi, yang mengakibatkan ketidakefektifan dalam mengendalikan sistem saat menghadapi gangguan yang tidak terduga atau perubahan lingkungan. Akibatnya, kendali PID menjadi kurang adaptif, dan penentuan parameter PID pun sering kali sulit dipahami dan diterapkan. Salah satu metode untuk memperoleh nilai parameter PID adalah dengan menggunakan pendekatan Ziegler-Nichols tipe-1 dalam kondisi *open loop*.

Penelitian ini membahas sistem kendali cairan dengan menggunakan Kontroler PID. Kendali PID merupakan salah satu metode yang umum diterapkan di industri karena memiliki tingkat presisi yang tinggi, mudah diaplikasikan, dan andal [2]. Pengendalian dilakukan dengan mengurangi sinyal kesalahan selama operasi sistem, serta mampu menghasilkan keluaran sinyal yang memiliki respons cepat, kesalahan minimal, dan meminimalkan terjadinya overshoot [3]. Semakin kecil nilai kesalahan (*error*) yang terjadi, maka semakin optimal kinerja sistem kendali yang digunakan [4].

Kontroler ini memiliki nilai parameter proporsional yang berfungsi sebagai pengali *error* untuk perbaikan nilai. Selain itu, nilai parameter integral berperan dalam mengoreksi kesalahan steady state hingga mencapai nol [5]. Nilai standar diferensial berfungsi sebagai perbaikan terhadap respons transien dan untuk meredam osilasi [2]. Untuk menentukan nilai parameter PID, beberapa metode dapat digunakan, salah satunya adalah metode Ziegler-Nichols tipe 1.

Kendali PID memiliki respons yang cepat dan mampu mencapai respon *steady state* dengan *error* minimum. Keluaran sinyal kendali PID dirumuskan pada [6]:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int t e(t) + K_d \cdot de(t)/dt \quad (1)$$

Dalam area waktu diskritik maka keluaran sinyal kendali dirumuskan :

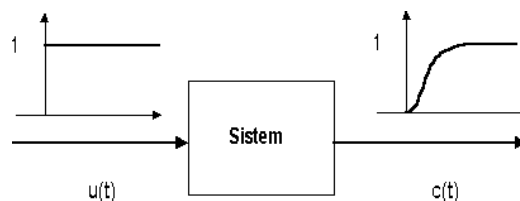
$$u(k) = K_p \cdot (e(k)) + K_i \cdot T_s [e(k-1) + e(k)] + K_d \cdot (e(k) - e(k-1))/T \quad (2)$$

Keterangan :

$u(k)$ = Sinyal Keluaran
 K_p = Konstanta Proporsional
 K_i = Konstanta Integral
 K_d = Konstanta Derivatif
 T_s = Time Sampling
 $e(k)$ = Error

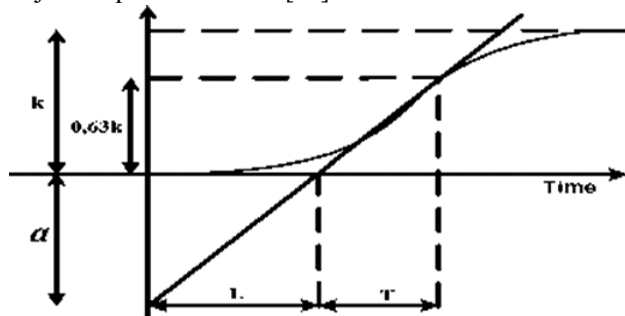
Menyelesaikan parameter kendali PID untuk *plant* yang tidak diketahui model matematikanya dapat menggunakan

metode tuning Ziegler-Nichols[7]. Untuk mengatur level ketinggian cairan pada plant, digunakan sebuah motor pompa DC yang berfungsi memindahkan cairan dari tangki 1 ke tangki 2, dengan metode Ziegler-Nichols sebagai panduan[8]. Metode ini merupakan metode pertama dari Ziegler-Nichols untuk penalaan kendali PID. Dengan melakukan percobaan secara eksperimental, penerimaan plant terhadap masukan unit-step akan menghasilkan kurva S seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Tanggapan Unit-Step .

Kurva berbentuk S memiliki karakteristik yang ditentukan oleh dua parameter, yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T [9]. Parameter-parameter tersebut diperoleh dengan menggambar garis singgung pada titik infleksi kurva S, yang menghasilkan perpotongan antara garis singgung tersebut dengan sumbu waktu dan garis $c(t) = K$, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.[10].



Gambar 2. Tanggapan Kurva S

Bersumber pada kurva S dapat menetapkan parameter dari K_p , K_i dan K_d dengan aturan pada tabel 1.

TABEL 1
UKURAN HURUF PADA PAPER

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d	K_i	K_d
P	T/L	∞	0	K_p/T_i	$K_p.T_d$
PI	0,9 T/L	$L/0,3$	0	K_p/T_i	$K_p.T_d$
PID	1,2 T/L	2L	0,5L	K_p/T_i	$K_p.T_d$

II. METODE

Metode ini melibatkan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Dalam perancangan perangkat keras, Arduino Uno digunakan sebagai pengendali terpusat, Potensiometer

(bola plastik sebagai pelampung) berfungsi sebagai sensor level, dan Water Pump DC 12v digunakan sebagai plant untuk memindahkan cairan dari tangki 1 ke tangki 2. Komponen-komponen ini dirancang menjadi sistem kendali PID (*Proportional Integral Derivative*). Perancangan perangkat lunak dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C.

Miniatur atau prototipe untuk mengukur ketinggian cairan ini menggunakan pompa air DC 12 volt sebagai penggerak untuk memasukkan air ke dalam tangki kedua. Perangkat lunak yang digunakan untuk memproses data dan menampilkan grafik adalah Arduino Uno. Tangki yang digunakan untuk mengukur ketinggian cairan berbentuk persegi dengan kapasitas 2 liter, dilengkapi dengan kran yang diatur secara manual untuk mensimulasikan keluaran. Desain dan konstruksi sistem pengukuran ketinggian cairan ini dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 6.

A. Blok Diagram

Diagram blok sistem merupakan salah satu elemen terpenting dalam perancangan dan pembuatan alat, sebab dari diagram bisa mengetahui prinsip kerja keseluruhan alat. Selain itu tujuannya yaitu menyederhanakan prosedur perancangan dan pembuatan pada masing-masing rangkaian, kemudian akan membentuk suatu sistem yang sesuai dengan perancangan. Secara garis besar prinsip kerja dari sistem yang dibuat ini seperti gambar 3.



Gambar 3. Blok Diagram.

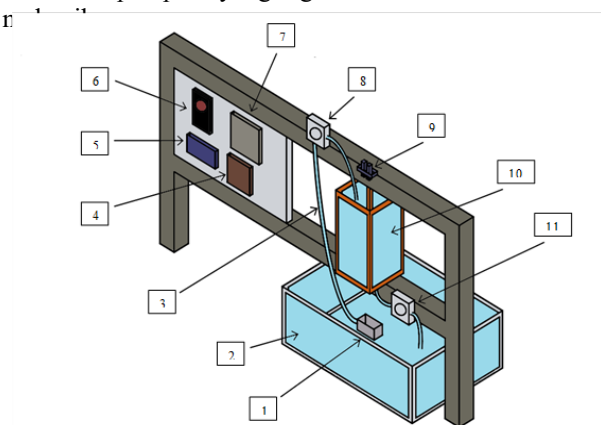
Penjelasan gambar 3 pada blok diagram diatas:

1. *Setpoint* merupakan input dari sistem yang akan dikendalikan. Setpoint yang diberikan yaitu nilai ketinggian level cairan yang diinginkan.
2. Kontroler merupakan pusat kendali dari sistem dengan menggunakan mikrokontroler *Arduino Uno*.
3. *Driver* Motor digunakan untuk penghubung antara *water pump* DC dengan *Arduino Uno*.
4. *Water pump* Dc digunakan sebagai aktuator atau penggerak masuknya cairan kedalam tangka.
5. Sensor yang digunakan sebagai sensor pendeteksi ketinggian level cairan dalam tangki yaitu sensor ultrasonik.
6. Antarmuka pada software Arduino Uno digunakan untuk mengontrol dan memonitoring sistem yang ditampilkan pada PC.

B. Perancangan Mekanik

Tiap Perancangan ini bertujuan menyederhanakan juga mengurangi tingkat kesalahan dalam membuat *Hardware* dengan hasil yang optimal. Pembuatan mekanik alat ini

menggunakan bahan akrilik dengan ketebalan 2 mm digunakan sebagai kerangka dari komponen yang digunakan. Pada perancangan terdapat dua buah tangki dalam bentuk dan ukuran yang berbeda. Tangki 10 digunakan sebagai wadah kendali level ketinggian cairan yang dapat digunakan karena dilengkapi dengan satu buah kran. Selanjutnya tangki 2 berguna sebagai bak penampung air yang dikeluarkan dan yang akan diambil dari *water pump* dc yang digunakan. Berikut adalah rancangan



Gambar 4. Perancangan Mekanik .

Keterangan gambar:

1. *Water pump* DC 12V
2. Bak Penampungan Air
3. Selang kecil
4. *Driver board*
5. *Arduino Uno*
6. *Power switch* ON/OFF
7. *Power supply* 12V
8. *Water flow sensor* masukan
9. Sensor Ultrasonik
10. Tangki
11. *Water flow sensor* keluaran

C. Perancangan Software

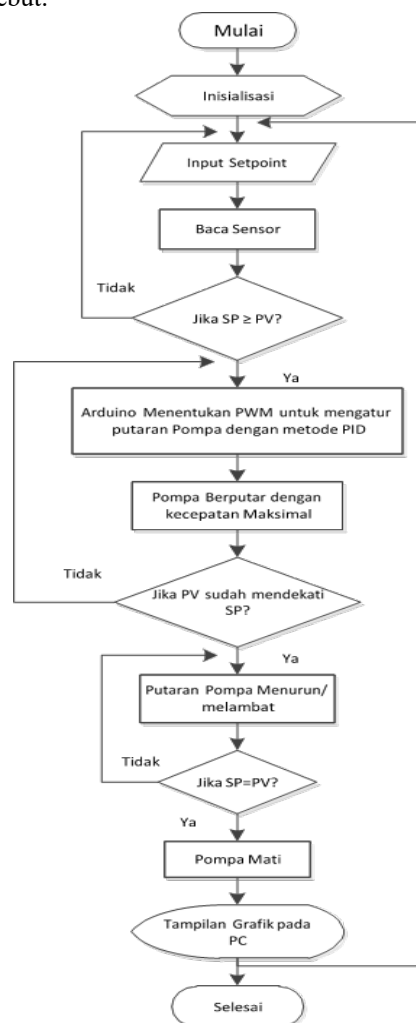
Perancangan ini menggunakan software arduino IDE 1.8.16 dengan bahasa pemrograman C. Perancangan media untuk mengontrol dan memonitoring dilakukan dengan menggunakan software Visual Basic dengan menggunakan bahasa pemrograman IDE visual. Untuk menjalankan alat dimulai dengan mendesain flowchart sistem dari program yang akan dibuat. Perancangan sistem ini memanfaatkan Arduino IDE versi 1.8.16 sebagai platform utama pengembangan perangkat lunak, dengan bahasa pemrograman C yang digunakan untuk mengontrol fungsi-fungsi perangkat keras secara langsung.

Penggunaan Arduino IDE memungkinkan pemrogram untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah kode ke mikrokontroler dengan efisien, sehingga proses pengembangan menjadi lebih terstruktur dan mudah dioperasikan. Selain itu, media pengontrolan dan monitoring sistem dirancang menggunakan software Visual Basic, yang dikembangkan dengan bahasa pemrograman berbasis IDE Visual. Pendekatan

ini memberikan antarmuka pengguna yang interaktif dan mudah digunakan untuk memonitor serta mengendalikan alat secara real-time.

Proses pengoperasian alat dimulai dengan perancangan diagram alir sistem yang menggambarkan alur logika program secara keseluruhan. Diagram alir ini berfungsi sebagai panduan visual untuk memastikan setiap langkah pengendalian dan pemantauan berjalan sesuai dengan desain yang diharapkan. Dengan adanya diagram alir, pengembangan program dapat dilakukan secara sistematis dan terorganisir, memudahkan identifikasi potensi kesalahan serta penyempurnaan fungsi sebelum implementasi akhir. Pendekatan ini mengintegrasikan aspek perangkat lunak dan antarmuka pengguna secara harmonis, sehingga menghasilkan sistem yang andal dan mudah dikendalikan.

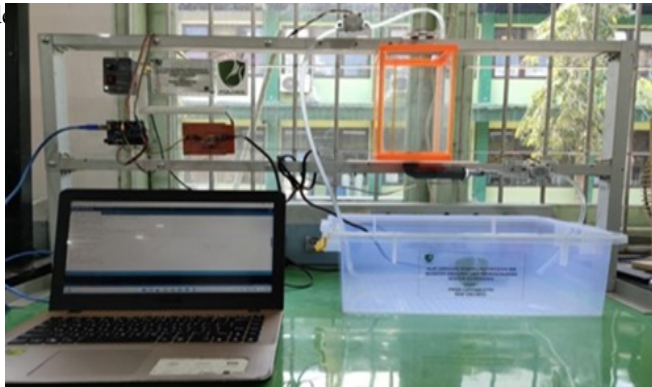
Perancangan flowchart adalah proses pengembangan logika atau urutan instruksi pemrograman. Diagram alur dari suatu perancangan disajikan secara jelas dalam bentuk algoritma, yang menggambarkan rencana aktualisasi tindakan. Perancangan flowchart sistem dilakukan untuk mempermudah pengembangan perangkat lunak yang akan dibuat dengan meninjau logika yang akan digunakan sebagai penjelasan dari urutan program yang diterapkan dalam perancangan alat tersebut.



Gambar 5. Perancangan Software.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati efektivitas rancangan pengendalian level air, baik ketika terjadi perubahan set point maupun saat mengalami gangguan (disturbance). Pengujian alat ini dilakukan dengan menggunakan catu daya yang telah dipasang pada alat, mikrokontroler Arduino Uno, sensor ultrasonik, pompa air 12 V, dan komputer yang digunakan untuk menampilkan grafik keluaran dari proses yang dilakukan. Berikut adalah rancangan alat yang telah dibuat



Gambar 6. Prototype Sistem Kendali Level Cairan.

Langkah pertama yang harus dilakukan untuk mengaktifkan rancangan ini adalah menghubungkan alat pada sumber 220 Volt. Selanjutnya, hidupkan alat dengan menekan saklar on/off. Setelah alat menyala, lakukan pengujian alat yang diinginkan pada tampilan PC. Terdapat beberapa pengujian yang dilakukan, yaitu: pengujian pertama adalah tuning parameter PID, pengujian nilai setpoint yang ditetapkan tanpa gangguan, dan pengujian nilai setpoint dengan gangguan berupa pembukaan kran.

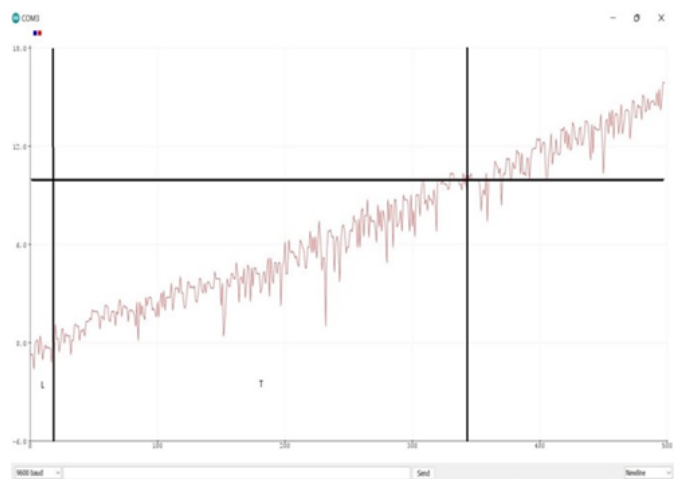
1. Pengujian Tuning Parameter PID

Pengujian tuning respons PID ini dilaksanakan untuk menentukan nilai K_p , K_i , dan K_d agar perubahan laju alir yang berasal dari pompa dapat diminimalkan ketika diberikan nilai setpoint. Setpoint ini berupa nilai level tinggi cairan yang diatur melalui perangkat lunak Arduino, yang juga dapat diatur melalui alat ukur antarmuka pada PC menggunakan Aplikasi Arduino Uno.

Penentuan parameter PID menggunakan metode Ziegler-Nichols tipe-1 dilakukan dengan mengikuti aturan dan rumus yang tercantum pada tabel 1, yang berfungsi sebagai panduan dalam penalaan kontroler. Metode ini menekankan pada pengujian sistem secara eksperimental untuk memperoleh nilai parameter yang optimal, dengan fokus pada kestabilan dan respons sistem terhadap sinyal masukan. Proses penalaan dilakukan melalui dua kali percobaan, di mana setiap percobaan bertujuan untuk menyesuaikan nilai parameter PID agar sistem dapat

beroperasi dengan stabil dan menghasilkan kinerja pengendalian yang diinginkan.

Dalam pelaksanaannya, percobaan pertama digunakan untuk menentukan nilai awal parameter berdasarkan respons sistem, sedangkan percobaan kedua berfungsi untuk memverifikasi dan menyempurnakan penalaan tersebut. Dengan pendekatan ini, metode Ziegler-Nichols tipe-1 memberikan kerangka kerja praktis yang memungkinkan penyesuaian parameter PID secara sistematis dan terukur, sehingga meminimalkan overshoot dan osilasi yang tidak diinginkan. Pendekatan ini sangat efektif dalam mengendalikan sistem dinamis yang memerlukan respon cepat dan akurat.

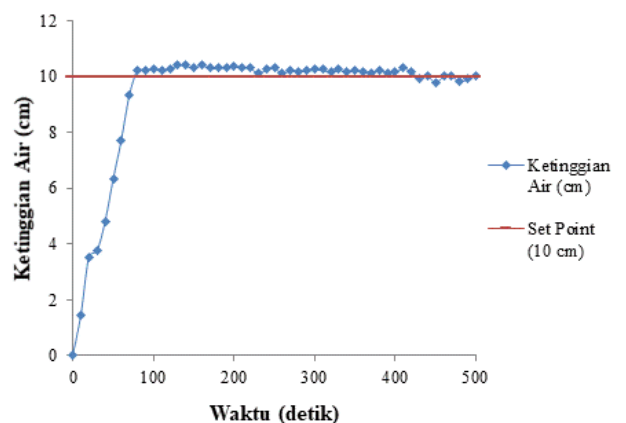


Gambar 7. Grafik Penelaan Tuning PID

$$\begin{aligned}
 L &= 0.7 ; T = 13.3 \\
 K_p &= 1.2 \times T/L = 1.2 \times 13.3/0.7 = 22.8 \\
 T_i &= 2 \times L = 2 \times 0.7 = 1.4 \\
 T_d &= 0.5 \times L = 0.5 \times 0.7 = 0.35 \\
 K_i &= K_p / T_i = 22.8 / 1.4 = 16.3 \\
 K_d &= K_p \times T_d = 22.8 \times 0.35 = 7.98
 \end{aligned}$$

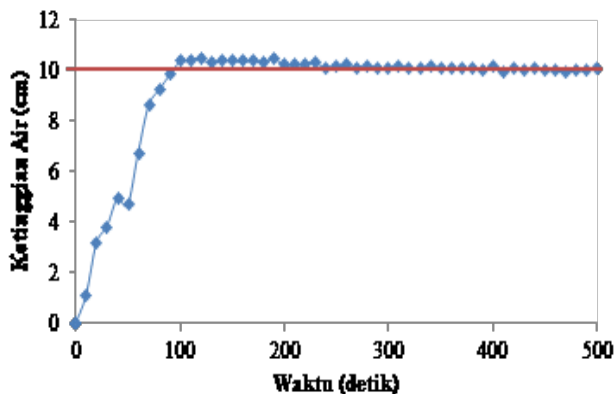
2. Percobaan Respon Sistem Tipe Pengendalian PID

Respon sistem terhadap tipe pengendali PID dengan parameter nilai K_p , K_i dan K_d yang divariasikan pada set point tetap yaitu 10 cm. Grafik optimum pada pengujian respon pengendalian PID ini adalah pada nilai $K_p = 24,8$; $K_i = 2,4$ dan $K_d = 1,2$ yang ditunjukkan pada Gambar 8



Gambar 8. Grafik Respon Sistem PID

Gambar 8 mengilustrasikan bahwa sistem mampu mencapai kondisi respons ideal berupa respons teredam kritis, yang menunjukkan kestabilan optimal tanpa osilasi berlebih. Dengan waktu pemulihan sebesar 80 detik, sistem

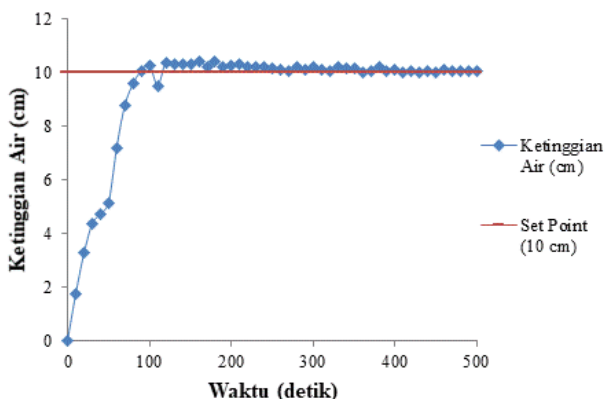


menunjukkan kemampuan untuk kembali ke keadaan setimbang dalam waktu yang relatif singkat setelah gangguan. Overshoot sebesar 0,42 cm mengindikasikan bahwa deviasi awal dari posisi setpoint sangat minimal, sehingga mengurangi risiko terjadinya fluktuasi yang merugikan dalam sistem.

Selain itu, offset sebesar 0,018 cm menunjukkan bahwa kesalahan steady-state hampir tidak signifikan, menandakan presisi tinggi dalam menjaga posisi akhir. Laju alir keluaran tangki sebesar 7,0 mL/s berperan penting dalam mencapai respons ini, karena aliran yang tepat memungkinkan sistem mengatur perubahan dengan efisien dan stabil. Kombinasi parameter-parameter tersebut mencerminkan desain kontrol yang efektif dan optimal dalam menjaga performa sistem sesuai dengan target yang diinginkan.

3. Percobaan Respon Sistem Tipe Pengendalian PI

Respon sistem terhadap tipe pengendali PI dengan parameter nilai K_d tetap yaitu 0 dengan K_p , K_i yang divariasikan pada set point tetap yaitu 10 cm. Grafik optimum pada pengujian respon pengendalian PI ini adalah pada nilai $K_p = 19,1$ dan $K_i = 1,9$ yang ditunjukkan pada Gambar 9



Gambar 9. Grafik Respon Sistem PI

Gambar 9 menunjukkan bahwa respons sistem dapat mencapai kondisi ideal (critically damped response) dengan waktu pemulihan sebesar 50 detik, overshoot sebesar 0,636 cm, dan offset sebesar 0,002 cm, dengan laju alir keluaran tangki sebesar 7,2 mL/s.

4. Pengujian Respon Sistem Parameter P

Respon sistem terhadap tipe pengendali P dengan parameter nilai K_d dan K_i tetap yaitu 0 dengan K_p yang divariasikan pada set point tetap yaitu 10 cm. Grafik optimum pada pengujian respon pengendalian P ini adalah pada nilai $K_p = 285$. Respon pengujian parameter P ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

Gambar 10. Grafik Respon Sistem Tunning P

Dari Gambar 10, terlihat bahwa sistem berhasil mencapai kondisi respon yang ideal dengan karakteristik critically damped response. Hal ini ditandai dengan settling time sebesar 50 detik, yang menunjukkan waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai kondisi stabil setelah terjadi gangguan atau perubahan input. Overshoot yang terjadi sebesar 0,636 cm menunjukkan bahwa sistem hanya melewati nilai setpoint secara minimal sebelum akhirnya stabil, sehingga mengindikasikan kestabilan yang baik dan respons yang terkontrol.

Selain itu, offset yang sangat kecil sebesar 0,002 cm mengindikasikan bahwa perbedaan antara nilai keluaran akhir dengan nilai referensi hampir tidak ada, yang berarti sistem mampu mempertahankan output yang sangat akurat. Dengan laju alir keluaran tangki sebesar 7,2 mL/s, sistem ini menunjukkan efisiensi dalam pengaturan aliran yang konsisten dan presisi.

IV. PENUTUP

Alat kendali ketinggian air yang memanfaatkan sensor ultrasonik dengan mikrokontroler Arduino Uno R3 dapat berfungsi sebagai simulasi pengendalian proses, khususnya dalam pengendalian ketinggian air (level control). Respon hasil pengujian dari aplikasi tipe pengendalian (P, PI, dan PID) menunjukkan kemampuan mencapai kondisi ideal (critically damped response) yang diharapkan dari sebuah alat pengendalian proses, bahkan ketika sistem mengalami gangguan. Untuk tipe pengendali P, parameter terbaik diperoleh pada nilai $K_p = 285$. Sementara itu, untuk tipe pengendali PI, parameter optimal ditemukan pada nilai $K_p = 19,1$ dan $K_i = 1,9$. Sedangkan untuk tipe pengendali PID, parameter terbaik adalah $K_p = 24,8$, $K_i = 2,4$, dan $K_d = 1,2$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda atas dukungan fasilitas yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Z. Jamal, "Implementasi Kendali Pid Penalaan Ziegler-

- Nichols,” *J. Inform.*, vol. 15, no. 1, pp. 81–88, 2015.
- [2] L. A. Pratita, S. Nurcahyo, and H. K. Safitri, “Sistem Monitoring dan Kontrol Level Air pada Pengelolaan Sumber Daya Air Menggunakan Kontrol PID,” *Metrotech (Journal Mech. Electr. Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 132–141, Sep. 2024, doi: 10.70609/metrotech.v3i3.5262.
- [3] A. S. Aviv, A. Wardayanti, E. Budiningsih, A. K. Fimani, and B. Suhardi, “Water Level Control Sistem Otomatis Sederhana pada Tandon Air di Kawasan Perumahan,” *PERFORMA Media Ilm. Tek. Ind.*, vol. 15, no. 2, Sep. 2016, doi: 10.20961/performa.15.2.9864.
- [4] A. Prasetyawan, “Pengendalian Level Air Pada Model Plant Yokogawa Tipe S4 Menggunakan PID Prediktif,” p. 144, 2015, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/60115/>
- [5] J. Prasetyo, Purwanto, and Rahmadwati, “Uji Performansi Pada Sistem Kontrol Level Air Dengan Variasi Beban MENGGUNAKAN KONTROLER PID,” *J. Mhs. TEUB*, vol. 3, no. 17, 2015.
- [6] U. Edi, J. Saputra, and M. Anif, “Aplikasi Monitoring Pengisian Tangki Minyak Kelapa Sawit Dengan Sensor Ultrasonik Seedstudio Sen136b5b,” vol. 9, no. 2, pp. 18–26, 2012.
- [7] Saumi Syahreza, “Rancang Bangun Pengendali Otomatik Ketinggian Fluida dan Temperatur Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC),” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 9, no. 1, pp. 36–42, 2010.
- [8] H. Suryantoro, “Prototype Sistem Monitoring Level Air Berbasis Labview dan Arduino Sebagai Sarana Pendukung Praktikum Instrumentasi Sistem Kendali,” *Indones. J. Lab.*, vol. 1, no. 3, p. 20, Aug. 2019, doi: 10.22146/ijl.v1i3.48718.
- [9] A. Tahir, “Otomatisasi Pengisian Tangki Air dengan Visualisasi Menggunakan Pemrograman Visual Basic,” *J. Ilm. Media Process.*, vol. 10, no. 1, pp. 330–338, 2015.
- [10] A. S. Nugroho and K. Suryoprato, “Rancang Bangun Sensor Pengukur Level Interface Air dan Minyak pada Mini Plant Separator,” *Teknofisika*, vol. 2, no. 2, pp. 42–54, 2014.