

INTEGRASI *HARDWARE* DAN PENGEMBANGAN GUI BERBASIS PYTHON UNTUK SISTEM *COUPLED TANK*

HARDWARE INTEGRATION AND PYTHON-BASED GUI DEVELOPMENT FOR COUPLED TANK SYSTEM

Nurrahman Rizky¹, Nadia Safa Fajriani², Muhammad Fadel Ashar³, Erwin Susanto⁴,
Muhammad Ridho Rosa⁵

^{1,2,3,4}Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro,
Universitas Telkom

¹rizkyvoktober@student.telkomuniversity.ac.id, ²nanassafa@student.telkomuniversity.ac.id,
³muhhammadfadelashar@student.telkomuniversity.ac.id, ⁴erwinelektro@telkomuniversity.ac.id,
⁵mridhorosa@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Penelitian ini membahas mengenai perancangan dan implementasi integrasi sistem perangkat keras menggunakan Arduino ATmega sebagai mikrokontroler dan GUI berbasis Python. Integrasi ini melengkapi sistem kendali ketinggian air dengan kontroler PID pada *coupled tank*. Integrasi GUI menghasilkan antarmuka interaktif untuk penggunaan pengontrolan dan pemantauan sistem *coupled tank*. Seluruh sensor dan komponen perangkat keras pada sistem terintegrasi melalui Arduino ATmega, memfasilitasi komunikasi dua arah melalui koneksi serial terhadap instruksi Python. Kontroler PID pada sistem *coupled tank* bertugas untuk mencapai dan mempertahankan level ketinggian air sesuai *setpoint* yang diinginkan. Untuk memastikan performa sistem, dilakukan pengujian terhadap pembacaan sensor yang kemudian diikuti oleh proses kalibrasi untuk meningkatkan akurasi hasil pembacaannya. Tuning parameter PID menggunakan metode *trial and error* serta Ziegler-Nichols dilakukan untuk memperoleh respons pengontrol terbaik. Integrasi GUI yang intuitif, fitur-fitur yang ditawarkan, kinerja perangkat keras yang handal, serta kontroler PID yang akurat, menguatkan fungsionalitas sistem *coupled tank* sebagai alat pembelajaran efektif dalam bidang kontrol bagi mahasiswa teknik.

Katakunci: Sistem dua tangki, GUI berbasis python, kendali PID, Mikrokontroler, Kalibrasi sensor, Kendali ketinggian air

Abstract

This research explains the design and implementation of a hardware system integration utilizing the Arduino ATmega as a microcontroller and a Python-based GUI. This integration complements the water level control system with a PID controller in a coupled tank. The GUI integration generates an interactive interface for system control and monitoring in the coupled tank. All sensors and hardware components in the system are integrated through Arduino ATmega, facilitating bidirectional communication via serial connection with Python instructions. The PID controller in the coupled tank system is responsible for achieving and maintaining the desired water level according to the setpoint. To ensure system performance, sensor reading tests are conducted followed by a calibration process to enhance accuracy. Tuning PID parameters through trial and error and Ziegler-Nichols methods are performed to obtain the optimal controller response. The intuitive GUI integration, offered features, reliable hardware performance, and accurate PID controller reinforce the functionality of the coupled tank system as an effective learning tool in the field of control for engineering students.

Keywords: Coupled tank system, Python-based GUI, PID control, Microcontroller, Sensor calibration, Water level control

1. PENDAHULUAN

Sistem *Coupled Tank*, atau juga dikenal sebagai sistem dua tangki terkoneksi, adalah sebuah model pengendalian level cairan pada dua buah tangki. Kedua tangki saling terhubung dengan saluran pipa, dan air atau cairan lainnya dapat dialirkan dari satu tangki ke tangki lainnya. Kendali level cairan pada tangki banyak dijumpai di industri *water treatment*, pupuk, dan pabrik petrokimia [1-3]. Tujuan dari pengendalian pada sistem *Coupled Tank* adalah untuk menjaga level atau ketinggian air pada kedua tangki agar sesuai dengan *setpoint* yang ditentukan.

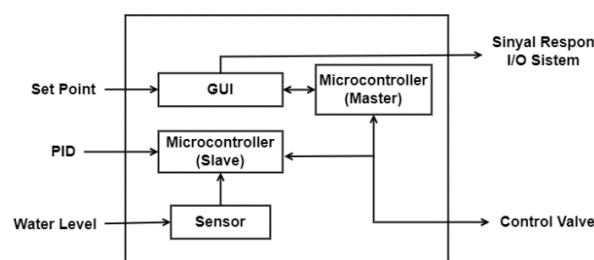
Salah satu tantangan dalam mengendalikan sistem *Coupled Tank* adalah sifatnya yang *non-linear* dan *non-minimum phase* [4]. Artinya, respon sistem terhadap perubahan input tidak selalu langsung proporsional dan bisa lebih rumit, sehingga membutuhkan pengendalian yang cermat dan efisien. Pada pengendalian level tangki, terdapat sifat non-linear dalam proses industri yang rumit. Keberhasilan kinerja sistem dipengaruhi oleh nilai *steady state error*, *overshoot*, *rising time*, dan *settling time* nya [5,6]. Berbagai strategi kontrol telah teruji pada sistem *Coupled Tank*, namun penggunaan kontroler klasik PID (Proporsional, Integral, Diferensial) telah terbukti memberikan performa pengendalian level cairan yang efektif [7,8].

Oleh karena itu, penggunaan kendali PID pada sistem *Coupled Tank* dapat mempresentasikan aspek nyata dalam industri. Penggunaan GUI (*Graphical User Interface*) yang interaktif pada alat praktikum *Coupled Tank*, mahasiswa memiliki kemampuan untuk mengatur nilai *setpoint* dan parameter kendali. Selain itu, mereka dapat secara *real-time* mengamati respons sistem, serupa dengan prinsip yang diterapkan dalam proyek sebenarnya [9]. Hasil dari integrasi sistem ini akan meningkatkan interaktivitas dalam pembelajaran dan praktisnya, juga memperdalam pemahaman mengenai bagaimana perubahan input dan parameter kontrol memengaruhi respons sistem.

2. PERANCANGAN SISTEM

2.1 Sistem *Coupled Tank*

Sistem *Coupled Tank* yang dirancang memiliki dua tangki proses dengan tinggi masing-masing 50 cm dan 35 cm, serta dilengkapi dengan satu *water basin* berkapasitas 86 liter sebagai penampung air. Sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur ketinggian air pada tangki. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan sensor *flow* untuk membaca kecepatan aliran air dan pompa yang berperan sebagai pendorong air dari *water basin* ke dalam tangki proses. Semua komponen terhubung kedalam sebuah *panel box* yang dilengkapi dengan dua mikrokontroler Arduino ATmega. Mikrokontroler ini berfungsi sebagai penghubung dengan GUI dan proses kendali PID. *Panel box* juga memiliki beberapa komponen pendukung penting seperti *power supply*, *motor driver*, modul *step down*, *relay*, dan *magnetic contactor* untuk mendukung kinerja keseluruhan sistem secara optimal. Berikut merupakan ilustrasi struktur dan fungsionalitas pada Sistem *Coupled Tank* yang dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.

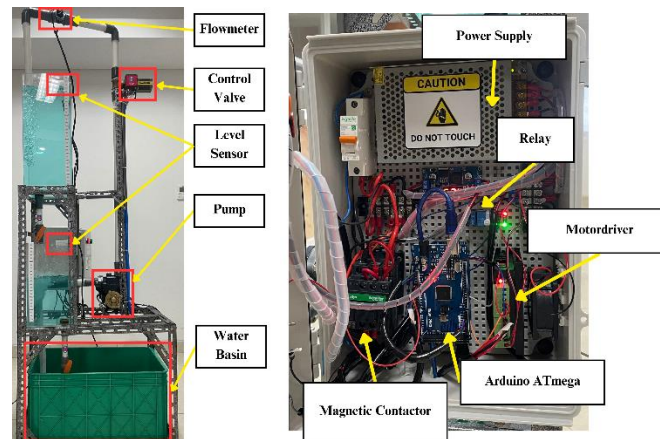


Gambar 1. Diagram Blok Sistem *Coupled Tank*

2.2 Desain *Hardware* dan Elektronik

Pada Gambar 1 sebelumnya, terdapat diagram blok sistem dari sistem *coupled tank*. Diagram ini memvisualisasikan pembacaan dari nilai sensor, yaitu sensor ultrasonik yang berfungsi untuk mengukur ketinggian air dalam dua tangki proses. Sensor ultrasonik yang digunakan adalah jenis HY-SRF05. Untuk mengukur kecepatan aliran air, digunakan *flow meter* jenis FS4001a G1. Sistem juga dilengkapi dengan *relay* yang dihubungkan dengan *magnetic contactor* yang berfungsi untuk menghidupkan dan mematikan pompa. Pada bagian *control valve*, digunakan *motor stepper* jenis

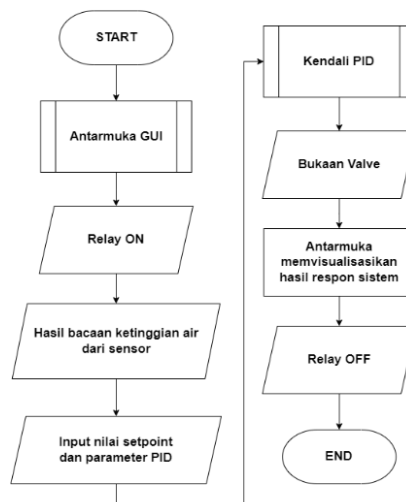
Nema 23 yang sesuai dengan ukuran *valve* yang dipasangkan pada *motor stepper*. Letak pemasangan tiap komponen elektronik pada *Coupled Tank* dan *panel box* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Letak Komponen Elektronik pada *Coupled Tank* dan *Panel Box*

Pada sistem ini, terdapat dua mikrokontroler Arduino ATmega yang memiliki peran sebagai *Arduino Master* dan *Arduino Slave*. *Arduino Master* berfungsi sebagai pusat kendali yang terhubung dengan GUI, bertugas sebagai penghubung antara GUI dengan *Arduino Slave*[10]. *Arduino Master* meneruskan *setpoint*, parameter PID, dan beberapa perintah yang diterima dari GUI ke *Arduino Slave*. Selain itu, *Arduino Master* juga menerima informasi dari *Arduino Slave* untuk ditampilkan pada GUI. *Arduino Slave* bertanggung jawab atas proses yang terjadi pada *coupled tank system*, mengendalikan *relay*, *control valve*, mengolah hasil bacaan sensor dan PID. Arduino ATmega dipilih karena memiliki lebih dari satu pin untuk komunikasi serial yang memudahkan dalam akuisisi data..

2.3 Desain Perangkat Lunak GUI dan Kendali PID

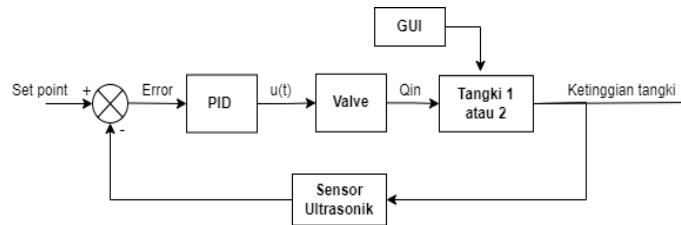


Gambar 3. Diagram Alir Arduino ATmega dan *Hardware*

Sistem perangkat lunak pada *Sistem Coupled Tank* dirancang menggunakan Arduino IDE. Dimulai dengan input dari antarmuka, sistem akan mengaktifkan *relay*, memulai pembacaan sensor, dan mengontrol aktuator (*bukaan valve*) berdasarkan perhitungan PID. Berikut *flowchart* alur proses nya yang diilustrasikan pada Gambar 3 di atas. Pada sistem, respon pergerakan level air yang mengikuti *setpoint* dipengaruhi oleh nilai-nilai *gain* K_p , K_i , dan K_d yang ditetapkan[11]. Kendali PID

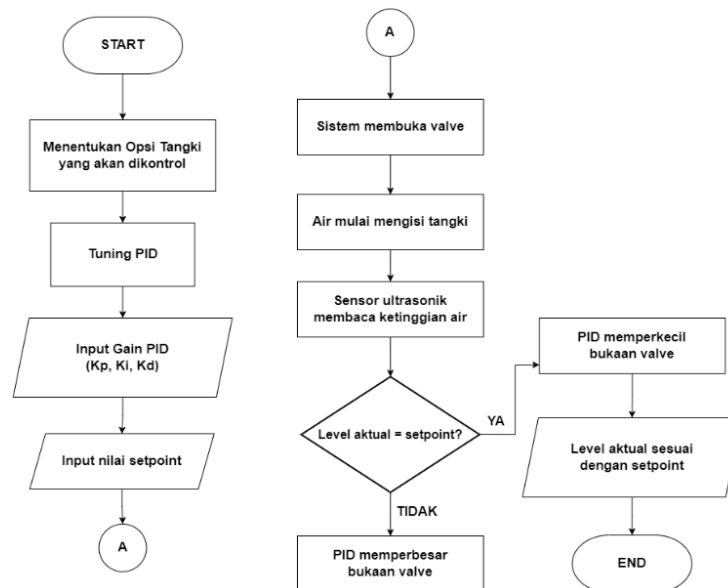
bertugas memanipulasi nilai umpan balik agar sesuai dengan *setpoint*, dengan cara meminimalkan nilai *error output* $e(t)$ yang terjadi. Diagram kendali PID dapat dilihat pada Gambar 4.

$$PID = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$



Gambar 4. Kendali PID sistem *Coupled Tank*

Pada sistem ini, proses kendali PID dijalankan oleh mikrokontroler Arduino. Persamaan PID (1) akan dijadikan sebuah kode program pada Arduino untuk menghitung nilai *error* antara level air saat ini dengan *setpoint*, kemudian memanipulasi aktuator berupa *valve* berdasarkan hasil perhitungan PID menggunakan nilai-nilai K_p , K_i , dan K_d . Dengan cara ini, sistem *coupled tank* dapat secara otomatis mengatur dan menjaga agar level air tetap stabil pada *setpoint* yang diinginkan. Diagram alir cara kerja kendali PID pada sistem dapat dilihat pada Gambar 5.



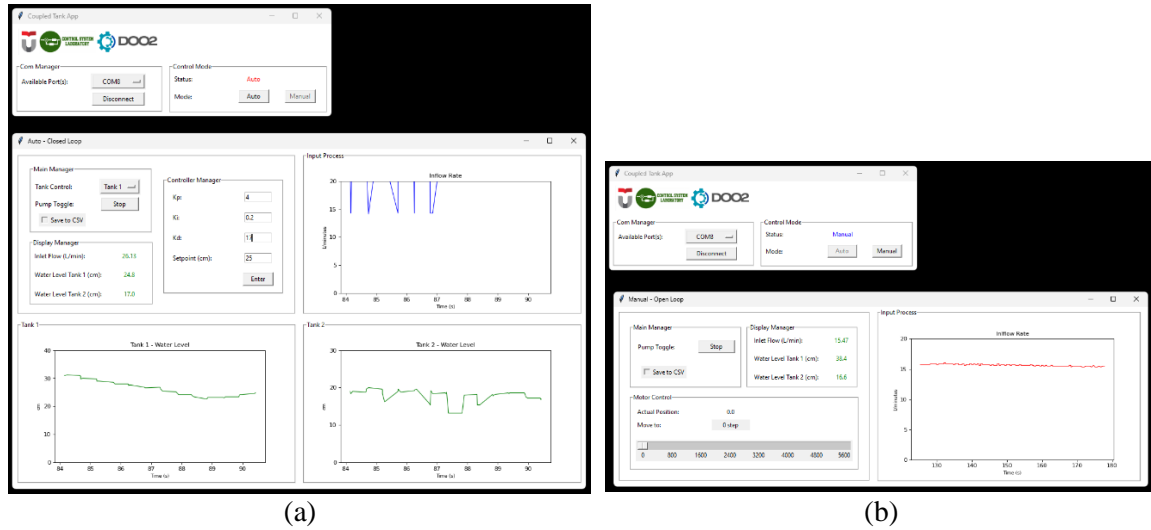
Gambar 5. Diagram Alir Kendali PID sistem *Coupled Tank*

2.4 Desain *Graphical User Interface* (GUI)

Antarmuka Pengguna Grafis (GUI) adalah antarmuka pengguna yang menggunakan elemen-elemen grafis seperti tombol, ikon, dan menu untuk memudahkan interaksi dan pengoperasian perangkat atau program dengan cara yang lebih intuitif dan visual [12]. GUI berbasis Python dengan fitur *monitoring* dan *controlling* digunakan dalam sistem *Coupled Tank*. Python dipilih karena sifatnya yang *open source* serta memiliki dukungan kuat dari komunitas pengembang.

GUI memungkinkan pengguna untuk mengatur koneksi mikrokontroler, memilih mode otomatis atau manual, serta mengakses data sensor secara *real-time* melalui grafik ketinggian air dan kecepatan alirannya. Mode otomatis dan manual dari GUI dapat dilihat pada Gambar 6. Jendela otomatis memiliki fitur kontrol untuk menghidupkan atau mematikan pompa, memilih tangki yang ingin dikendalikan ketinggiannya, serta memasukkan *setpoint* dan parameter PID yang akan dikirimkan ke Arduino untuk diolah dan dihitung menggunakan kontrol PID. Fitur *monitoring* pada

jendela ini memungkinkan tampilan grafik secara *real-time* untuk ketinggian air pada dua tangki serta kecepatan aliran air.



Gambar 6. Jendela GUI utama, mode manual (a) dan mode otomatis (b)

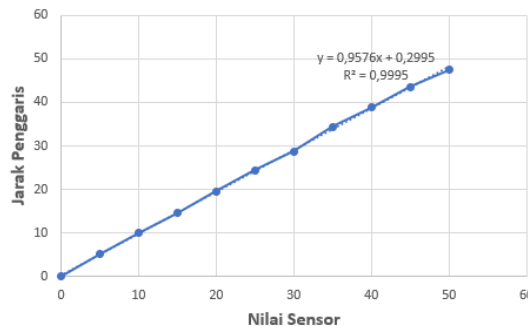
Pada mode manual, pengguna memiliki akses penuh terhadap pengaturan ketinggian air berdasarkan pengendalian bukaan *valve*. Mode manual juga dilengkapi dengan fitur monitor yang menampilkan grafik kecepatan aliran air dan ketinggian air pada kedua tangki

3. HASIL DAN PENGUJIAN SISTEM

3.1 Hasil dan Pembahasan

Dalam melakukan kalibrasi sensor ultrasonik, diperoleh hasil yang menunjukkan korelasi yang baik dengan alat ukur pembanding. Hasil kalibrasi ini mampu meningkatkan akurasi pembacaan sensor pada ketinggian air antara 15 hingga 50 cm, yang tercermin dari nilai koefisien regresi linier yang mencapai 0,9995 pada Gambar 7. Namun, perlu diperhatikan bahwa sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur ketinggian air dalam kondisi yang mungkin tidak selalu stabil, terutama saat air dalam tangki mengalami pergerakan. Untuk mengatasi hal ini, diterapkan perhitungan *moving average* (2), dimana A_n adalah hasil pembacaan sensor dibagi banyaknya n data pembacaan. Sehingga dihasilkan pembacaan sensor yang lebih halus dan akurat.

$$MA = (A_1 + A_2 + \dots + A_n) / n \quad (2)$$



Gambar 7. Kalibrasi Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor *flow meter* dapat dilihat pada Tabel 1, dilakukan perbandingan antara jumlah pulsa yang diterima oleh sensor dengan volume air yang ada dalam tangki yang diukur dalam liter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa terdapat rata-rata penyimpangan pembacaan sensor sebesar

0,15%, dan tingkat akurasi pembacaan sensor mencapai 99,8%. Hasil tersebut menunjukkan sensor flowmeter telah menghasilkan pembacaan yang sangat baik dan akurat dalam mengukur kecepatan aliran air pada sistem *coupled tank*.

Tabel 1. Pengujian Flowmeter

Pembacaan Sensor (L/min)	rpm	Konversi Sensor	Volume air	% simpangan baca sensor
14	4620	14	15	-1
14,62	4824,6	14,62	15	-0,38
15,11	4986,3	15,11	15	0,11
15,47	5105,1	15,47	15	0,47
15,47	5105,1	15,47	15	0,47
15,47	5105,1	15,47	15	0,47
15,47	5105,1	15,47	15	0,47
15,47	5105,1	15,47	15	0,47
15,2	5016	15,2	15	0,2
15,28666667	5044,6	15,28666667	15	0,286666667

Pengujian untuk *motor stepper* dilakukan agar *motor stepper* bergerak sesuai dengan *step* yang diberikan melalui GUI seperti pada Gambar 6. berikut hasil pengujian *motor stepper* dengan setelan 800 *steps per rotation* pada *motor driver* pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Motor Stepper

Input (step)	Sudut	Rotasi
400	180	0,5
800	360	1
1200	180	1,5
1600	360	2
2000	180	2,5
2400	360	3
2800	180	3,5
3200	360	4
3600	180	4,5
4000	360	5

Penting untuk memastikan bahwa sistem kendali ketinggian air pada *coupled tank* telah bekerja dengan baik setelah *hardware* diintegrasikan dengan GUI. Percobaan dilakukan dengan memberi perintah *setpoint* dan parameter PID melalui GUI seperti pada Gambar 4. Berdasarkan [13] dan [14], setiap *gain* kendali yakni K_p , K_i dan K_d memiliki pengaruh kontrol yang berbeda.

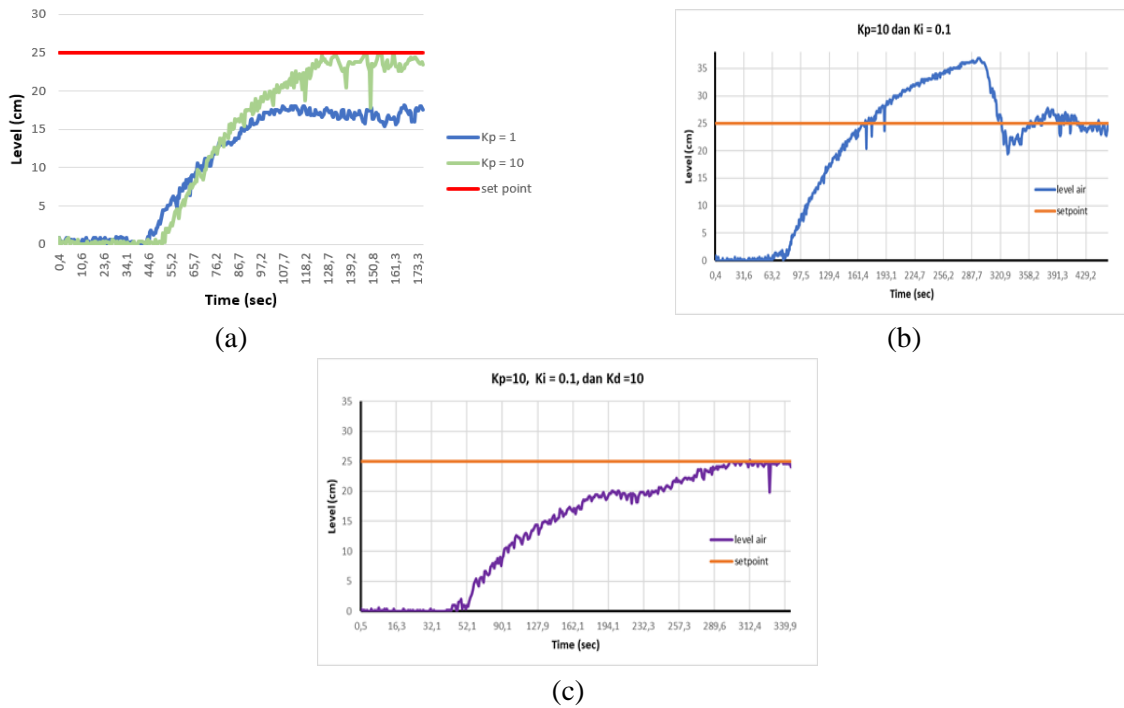
Tabel 3. Pengaruh tiap *gain* PID pada *Coupled Tank*

Parameter Increase	Rise Time	Overshoot	Settling Time	SS Error
Kp	↓	↑	Small change	↓
Ki	↓	↑	↑	Great reduce
Kd	Small change	↓	↓	Small change

Untuk itu, dilakukan pengujian untuk memastikan efek tiap *gain* sesuai dengan teori yang sudah ada, seperti yang diterangkan pada Tabel 3. Hasil Pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Efek uji K_p , K_i , K_d

Parameter	$K_p = 1$	$K_p = 10$	$K_p = 10, K_i = 0,1$	$K_p = 10, K_i = 0,1, K_d=50$
Waktu menetap di <i>setpoint</i> (ts)	-	-	358 sec	302 sec
Waktu mencapai ketinggian maksimum (tp)	-	-	291 sec	-
<i>Overshoot</i> (Mp%)	-	-	40%	-
<i>Offset</i> (ess)	8 cm	2 cm	-	-



Gambar 8. Level air pengujian gain: (a) K_p , (b) K_i , (c) K_d

Berdasarkan Gambar 8a, efek kendali proporsional pada sistem *coupled tank* terlihat. Meningkatkan K_p dari 1 menjadi 10 terbukti meningkatkan level air, awalnya pada 17 cm, kemudian naik ke 25 cm, mengindikasikan adanya *offset* sekitar 2 cm. Pengujian ini membuktikan bahwa pengaruh K_i mengikuti sifat di tabel 4. Sebelumnya, masih terdapat *offset* jika $K_p = 10$ dan Gambar 8b. menunjukkan *offset* dihilangkan saat menggunakan kendali integral. Terlihat bahwa terdapat *overshoot* dan level bisa menetap di ketinggian yang diinginkan. Eksistensi dari kontrol derivatif dibuktikan dengan diredamnya *overshoot* saat uji K_i . Sifat tersebut terbukti pada Gambar 8c. Saat $K_p = 10, K_i = 0.1$ kemudian meningkatkan $K_d = 50$ menyebabkan *overshoot* menghilang yang diikuti dengan T_p dan ess juga hilang. Sistem mampu mencapai ketinggian *setpoint* sedikit lebih cepat, yang awalnya 358 detik menjadi 302 detik.

4.KESIMPULAN

Kalibrasi sensor ultrasonik meningkatkan ketelitian pembacaan ketinggian air, sedangkan sensor *flow meter* memiliki tingkat akurasi yang sudah baik. Penerapan kendali PID dilakukan dengan membuat program ke Arduino ATmega sebagai controller *slave* sistem. Dari percobaan yang dilakukan, pengontrolan level air di *coupled tank* mampu mengikuti sifat ketiga kontrol PID, yakni

kontrol proposional, kontrol integral, dan kontrol derivatif. Integrasi perangkat keras, kendali PID, dan GUI interaktif merupakan langkah maju dalam pengajaran teknologi kontrol dan kendali otomatis. Penelitian ini dilakukan untuk skala lingkungan laboratorium serta memfokuskan pada implementasi kontrol PID dengan Arduino ATmega, yang mungkin membatasi penerapan strategi kontrol yang lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Weiss. 2014. "ICS for Water and Wastewater Systems. Industrial controlsystem (ICS) cyber security for water and wastewater systems" Protecting Critical Infrastructure.Vol 2, pp. 87–105.
- [2] Rahmawati, Agustina. 2021. Sistem Monitoring Level Khususnya Pada Tangki FA-303 Di Pabrik Pusri IB. *JUPITER*. **3** 25. [Online] <https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/Jupiter/article/view/6626/5281> [diakses pada 30 Juli 2023].
- [3] Rizki B. 2016. *Desain Pengendalian Level Air pada Deaerator PT. Petrokimia Gresik menggunakan PI Nested Cascade*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [4] Michael Short, and A. Selvakumar. 2020. Non-Linear Tank Level Control for Industrial Applications. *Scientific Research Publishing*. **11** 878-879
- [5] Gubara, W., Elnaim, M., & Babiker, S. F. 2016. "Comparative Study on the Speed of DC Motor Using PID and FLC." Dalam Conference of Basic Sciences and Engineering Studies (SGCAC) 2016, hlm. 24-29. Khartoum, Sudan. doi: 10.1109/SGCAC.2016.7458001.
- [6] Saad, Mustafa. 2017. "Performance Analysis of a Nonlinear Coupled-Tank System Using PI Controller." *Universal Journal of Control and Automation*, **5**(4), 55–62. doi: 10.13189/ujca.2017.050401.
- [7] Park, J., Martin, R. A., Kelly, J. D., & Hedengren, J. D. 2020. "Benchmark Temperature Microcontroller for Process Dynamics and Control." *Computers & Chemical Engineering*, **135**, 106736. doi: 10.1016/j.compchemeng.2020.106736.
- [8] Oliveira, P. M., & Hedengren, J. D. 2019. "An APMonitor Temperature Lab PID Control Experiment for Undergraduate Students." Dalam 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) 2019, hlm. 1-4. doi: 10.1109/etfa.2019.8869247.
- [9] J. Yao and L. Limberis. 2009. Coupled-Tanks Level Control: An Effective Course Project And Its Software Design. *Computers in Education Journal*, **19** 53-61. [Online] <https://coed.asee.org/wp-content/uploads/2020/08/6-Coupled-Tanks-Level-Control-An-Effective-Course-Project-and-its-Software-Design.pdf> [diakses pada 30 Juli 2023].
- [10] Norman S. Nise. 2019. *Control Systems Engineering*. Eighth Edition, GCTU Repository. [Online] Tersedia di <https://repository.gctu.edu.gh/items/show/477> [diakses pada 30 Juli 2023].
- [11] Iwan Setiawan. 2008. *Kontrol PID Untuk Proses Industri*. PT Elex Media Komputindo.
- [12] Erwin Susanto. 2021. *Desain dan Analisis Sistem Kendali*. Salemba Teknika.
- [13] S. W. Jadmiko, L. A. Suyitno, F. M. Lukman, and B. T. G. Gibran, 2021. Aplikasi Kendali PID pada Simulator Water Level Control Berbasis TK-Series Controller. *JTERA*, **6** [Online] Tersedia di <https://jtera.polteksmi.ac.id/index.php/jtera/article/view/436/227> [diakses pada 29 Juli 2023].
- [14] T. Pujiati, 2021. Penerapan Kontroler PID pada Sistem Kendali Level Cairan dengan Metode Ziegler Nichols Berbasis Arduino. *JTEIN J. Tek. Elektro Indonesia*.