

Modul Pengaturan Motor Pompa DC Metode PID pada Sistem Kontrol Ketinggian Air berbasis Arduino

Yefta Rahellia Sujono¹, Edi Sulistio Budi², Indrawan Nugrahanto³

e-mail: yeftaar@gmail.com, edi.sulistio@polinema.ac.id, indrawan.nugrahanto@polinema.ac.id

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 29 November 2022

Direvisi 2 Januari 2023

Diterbitkan 31 Juli 2023

Kata kunci:

Ketinggian Air

Proporsional-Integral-Derivatif

Sistem Kendali

Keywords:

Water Level

Proportional-Integral-Derivative

Control System

ABSTRAK

Pada era ini, sistem kendali merupakan salah satu komponen penting dalam dunia industri. Sebagai mahasiswa politeknik diperlukan adanya keterampilan dalam memahami prinsip kerja sistem dalam suatu industri. Politeknik Negeri Malang memiliki fasilitas pembelajaran laboratorium sistem kendali, namun dalam laboratorium tersebut belum terdapat modul ketinggian air dengan mikrokontroler arduino. Dari permasalahan tersebut maka dibuatlah suatu *mini plant* sistem ketinggian air agar mahasiswa dapat mengetahui prinsip kerja pada komponen tersebut melalui wujud modul pembelajaran. Adapun metode kontrol yang diimplementasikan dalam skripsi ini agar *set point* tetap stabil yaitu kontrol Proporsional-Integral-Derivative. Dalam skripsi ini ditetapkan 3 *set point* dan respon terbaik dihasilkan pada saat *set point* 10cm. Melalui *find-tunning* diperoleh parameter kontrol $K_p=7.2$, $K_i=0.4$, dan $K_d=32.4$. Adapun performa sistem untuk *set point* 10cm yaitu *delay time* (t_d) = 38s, *rise time* (t_r) 68s, *peak time* (t_p) 81s, *maksimum overshoot* (mp) = 4.8%, *error steady-state* = 0.3% dan *settling time* (t_s) = 75s. Error terbesar pada sistem ini terletak saat *set point* 30 cm.

ABSTRACT

In this era, the control system is one of the important components in the industrial world. As a polytechnic student, it is necessary to have skills in understanding the working principles of systems in an industry. The State Polytechnic of Malang has a control system laboratory learning facility, but in the laboratory there is no water level module with an Arduino microcontroller. From these problems, a mini plant of a water level system was made so that students could know the working principle of these components through the form of a learning module. The control method implemented in this thesis so that the set point remains stable is Proportional-Integral-Derivative control. In this thesis, 3 set points are set and the best response is produced when the set point is 10cm. Through find tuning, the control parameters are $K_p=7.2$, $K_i=0.4$, and $K_d=32.4$. The system performance for the 10 cm set point is delay time (t_d) = 38s, rise time (t_r) 68s, peak time (t_p) 81s, maximum overshoot (mp) = 4.8%, steady-state error = 0.3% and settling time (t_s) = 75s. The biggest error in this system lies when the set point is 30 cm.



Penulis Korespondensi:

Yefta Rahellia Sujono,
Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Malang,
Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Jawa Timur, Indonesia, 65141
Email: yeftaar@gmail.com
Nomor HP/WA aktif: +62 838-489-24979

1. PENDAHULUAN

Pada era ini, sistem kendali merupakan salah satu komponen penting dalam dunia industri. Sebagai mahasiswa politeknik diperlukan adanya keterampilan dalam memahami prinsip kerja sistem dalam suatu industri. Politeknik Negeri Malang memiliki fasilitas pembelajaran laboratotium sistem kendali, namun dalam laboratorium tersebut belum terdapat modul ketinggian air dengan mikrokontroler arduino. Dari permasalahan tersebut maka dibuatlah suatu *mini plant* sistem ketinggian air agar mahasiswa dapat mengetahui prinsip kerja pada komponen tersebut melalui wujud modul pembelajaran. Untuk mengukur ketinggian air tersebut dengan menggunakan sensor ultrasonic yang di pasang di atas plant. Namun dalam suatu proses kontrol otomatis, diperlukan suatu sistem yang dapat mempertahankan kestabilan sistem karena berpotensi menyebabkan sistem tidak berjalan sesuai dengan yang diinginkan apabila mendapatkan gangguan pada plant. Oleh karena itu diperlukan sebuah sistem kendali water level menggunakan sistem kendali Proporsional-Integral-Derivative (PID) sebagai umpan balik yang dapat dipakai dalam sistem kontrol di industri.

2. METODE PENELITIAN

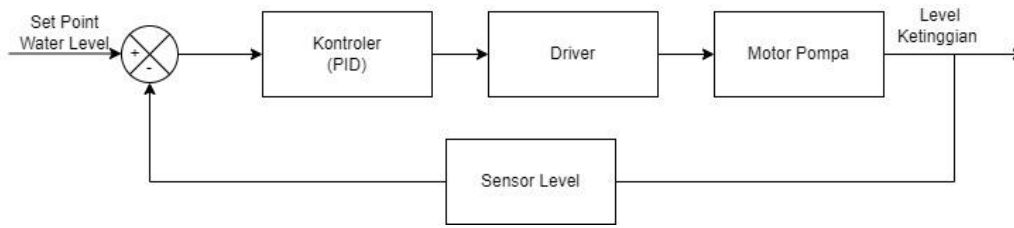
Metode yang dilakukan yaitu mengumpulkan dan mempelajari literatur yang selaras dengan kontrol ketinggian air, mempelajari dasar sistem mikropengontrol dan kontrol PID, serta literatur pendukung lainnya yang berhubungan dengan penelitian ini. Kemudian dilanjutkan dengan perancangan *hardware* yang meliputi perancangan sistem alat, perancangan mekanik, perancangan elektrik, perancangan kontrol PID, dan selanjutnya dilakukan perancangan *software* menggunakan arduino. Lalu dilakukan pengujian tiap-tiap komponen, pengujian pada sistem dan *software*, melakukan pengumpulan data, serta membuat analisa dan pengambilan kesimpulan.

2.1 Perancangan Sistem Alat

Untuk mengaktifkan sistem ini yaitu dengan cara menekan *push button*. Kemudian, pompa akan menyalurkan air dari tangki sumber menuju tangki ukur. Sensor ultrasonik yang berperan sebagai pengontrol ketinggian air akan mendeteksi posisi level air.

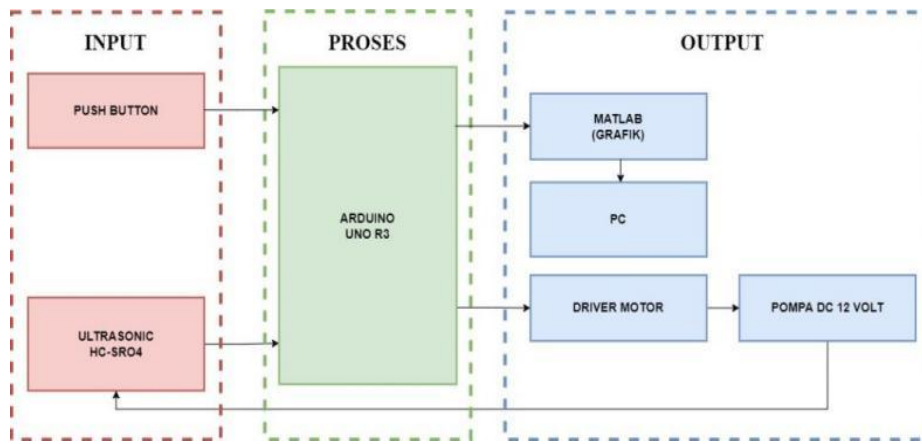
Cara kerja dari masing-masing *push button* yaitu ketika user menekan *push button 1*, *set point* sebesar 10 cm. Ketika user menekan *push button 2*, *set point* sebesar 20 cm. Ketika user menekan *push button 3*, *set point* 30 cm. Motor pompa akan aktif hingga air terisi sampai mencapai nilai *set point* dan mati ketika mencapai *set point*. Data yang didapat dari sensor ultrasonik akan diolah dan dikontrol dengan menggunakan arduino yang terdapat kontrol PID yang berperan untuk menjaga kestabilan level air pada tangki. Sebagai gangguan sistem, diberikan sebuah keran. Apabila keran dibuka, level air dalam tangki air akan berkurang. Ketika level air tidak sesuai *set point*, sensor ultrasonik akan mendeteksi dan mengirim sinyal input ke pengontrol untuk menyalakan kembali motor pompa dan menyesuaikan dengan level yang dipilih user. Untuk memperkecil kegagalan sistem dan menjaga kondisi agar sistem tetap berada dalam kondisi stabil maka digunakan metode pengontrolan PID. Dalam penelitian ini, MATLAB difungsikan sebagai pembaca grafik keluaran dari level tangki air.





Gambar 1 : Blok Diagram Kontrol

Pada gambar 1, blok sistem pengontrol berfungsi sebagai pengatur kecepatan motor pompa yang digunakan untuk menyalurkan air dari tangki sumber air menuju tangki ukur. Kontrol yang digunakan adalah kontrol PID. Driver motor pada sistem ini berfungsi sebagai penggerak motor pompa DC. Motor pompa DC berfungsi sebagai aktuator dan digerakkan oleh driver sesuai perintah dari mikrokontroller. Sensor level berfungsi sebagai pembaca ketinggian air saat melakukan pengisian air.



Gambar 2 : Blok Diagram Sistem Kendali Water Level

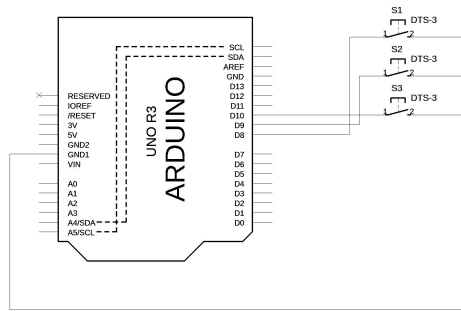
Pada gambar 2, *push button* merupakan masukan sistem sebagai set level air yang telah ditentukan. Sensor pada sistem ini menggunakan sensor ultrasonik, berfungsi sebagai sensor pendeteksi level air yang akan menjadi *feedback* dari sistem kontrol level. Arduino Uno R3 sebagai mikropengontrol berfungsi sebagai pengkonversi nilai input ultrasonik menjadi tegangan PWM. Kemudian, driver motor berfungsi sebagai kontrol motor pompa DC dan menggunakan driver BTS7960. Output dalam sistem ini adalah pompa DC 12 Volt serta MATLAB sebagai pembaca grafik *real-time* sistem

2.2 Perancangan *Software Simulation* menggunakan Eagle

2.2.1 *Push Button*

Pada sistem *water level* ini menggunakan 3 buah push button yang berfungsi sebagai tombol untuk menentukan setpoint. Terdapat 3 setpoint pada sistem ini yaitu 10 cm, 20 cm, dan 30 cm. Push button ini memiliki sistem kerja *latch*, maka dari itu pengguna hanya perlu menekan push button satu kali.

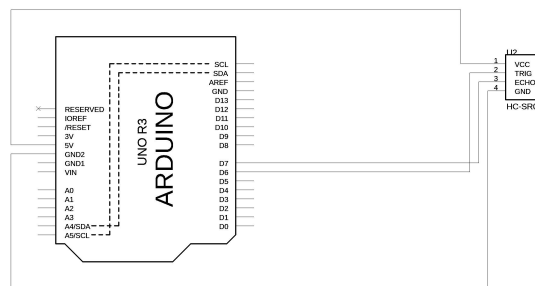




Gambar 3 : Rangkaian Skematik Perancangan Push Buttom

2.2.2 Sensor ultrasonik

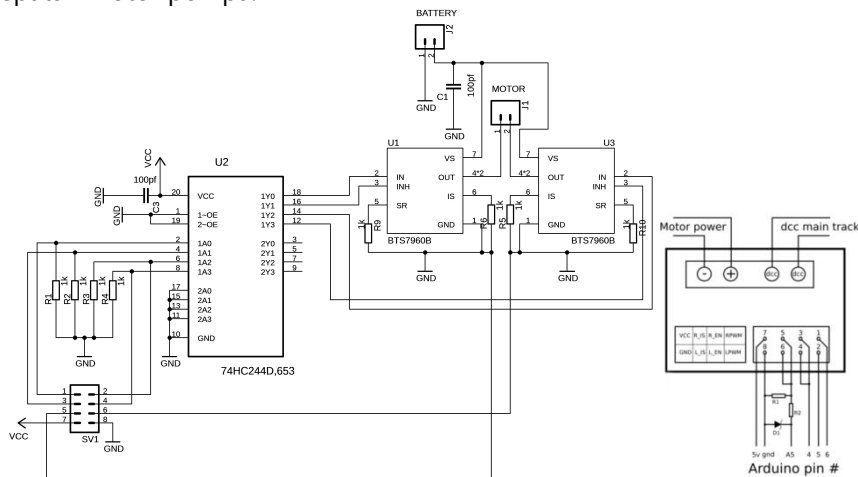
Penelitian ini menggunakan sensor ultrasonik HY-SRF05 yang berfungsi untuk mengidentifikasi jarak benda yang dikehendaki untuk kemudian hasil pembacaan sensor diproses pada board pengontrol arduino. Apabila sensor mendeteksi jarak sejauh set point, maka sensor akan mengirimkan sinyal digital menuju arduino.



Gambar 4 : Rangkaian Skematik Perancangan Sensor ultrasonik

2.2.3 Perancangan Driver BTS7960

Pengontrolan kecepatan motor pompa DC dilakukan melalui mikropengontrol arduino uno R3 dan driver BTS7960 terlebih dahulu. Motor Driver BTS7960 merupakan modul motor driver yang menggunakan IC BTS7960 H-Bridge sehingga dapat digunakan untuk mendrive atau mengontrol sebuah motor DC dengan dua arah, yaitu *counter clock wise* (CCW) dan *clock wise* (CW). ICL298 memiliki dua rangkaian H-Bridge yang bisa mengatur dua arah putaran motor menggunakan logika 0 dan 1, juga untuk mengatur putaran motor menggunakan PWM. Tegangan PWM akan mempengaruhi tegangan masukan pompa sehingga bisa mengontrol kecepatan motor pompa.

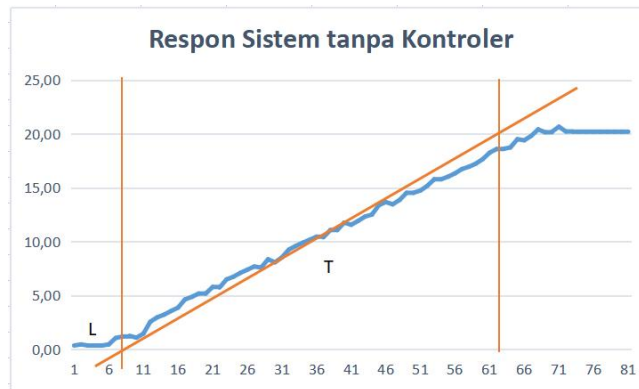


Gambar 5 : Konfigurasi Driver Motor Pompa DC



2.2.4 Perancangan Kontrol PID dengan Ziegler-Nichols

Penelitian ini menggunakan kontrol PID dengan Ziegler-Nichols kurva S karena tepat sebagai metode kontrol ketinggian air. Untuk gambar respon sistem tanpa kontrol dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 : Kurva Respon tanpa pengontrol

Metode ini didasarkan terhadap reaksi sistem loop terbuka. *Plant* sebagai *loop terbuka* diberi sinyal step-function. Apabila *plant* minimal tidak mengandung unsur integrator atau pole-pole kompleks, reaksi sistem akan berbentuk S. Dilihat dari respon sistem pada gambar 6, kurva Berdasarkan dari model sistem yang telah didesain maka dapat ditentukan nilai L dan T dari gambar 6 kurva respon dan menggunakan rumus dari Tabel I.

TABEL I: PARAMATER PID DENGAN METODE KURVA REAKSI ZIEGLER-NICHOLS.

Tipe pengontrol	Kp	Ti	Td
P	T/L	~	0
PI	0.9 T/L	L/0.3	0
PID	1.2 T/L	2L	0.5L

Kurva S mempunyai dua konstanta, yaitu L yang berarti *dead-time* atau waktu mati, dan waktu tunda T. Waktu tunda T mendefinisikan perubahan kurva setelah mencapai 66% dari keadaan mantap atau *steady-state*. Pada kurva respon dibuat garis yang bersinggungan dengan garis *steady-state*. Garis singgung itu akan memotong dengan sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis merupakan ukuran waktu mati atau L, dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan waktu tunda atau T dan diukur dari titik waktu L.

Perhitungan matematis untuk menentukan nilai Kp, Ki, dan Kd:

$$\begin{aligned}
 L &= 9 \text{ detik} \\
 T &= 54 \text{ detik} \\
 K_p &= 1,2 \times \frac{T}{L}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$= 1,2 \times \frac{54}{9} = 7,2 \tag{2}$$

$$T_i = 2 \times L \tag{2}$$

$$= 2 \times 9 = 18 \text{ detik}$$

$$T_d = 0,5 \times L \tag{3}$$

$$= 0,5 \times 9 = 4,5 \text{ detik}$$

Fungsi alih kontrol PID plant sebagai berikut:



$$U = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_D s \right) \tag{4}$$

$$K_p = 7,2 \tag{4}$$

$$K_I = \frac{K_p}{T_i} \tag{5}$$

$$= \frac{7,2}{18} = 0,4$$

$$K_D = K_p \times T_D \tag{6}$$

$$= 7,2 \times 3,5 = 32,4$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Sensor ultrasonik

TABEL II: HASIL PENGUJIAN SENSOR ULTRASONIK

Jarak Terbaca pada Arduino	Jarak Terukur (Mistar)	Error = $\frac{\text{Selisih}}{\text{Jarak Terukur}} \times 100\%$
2.01 cm	2 cm	0.5%
4.15 cm	4 cm	3.75%
5.90 cm	6 cm	1.67%
8.13 cm	8 cm	1.625%
10.25 cm	10 cm	2.5%
11.71 cm	12 cm	2.4%
13.99 cm	14 cm	0.07%
15.88 cm	16 cm	0.75%
18.11 cm	18 cm	0.61%
19.77 cm	20 cm	1.15%
Error rata-rata		1.5025%

Tabel II menunjukkan bahwa sensor ultrasonik mampu membaca jarak secara akurat karena error yang dihasilkan tidak lebih dari 5%. Maka dari itu sensor ini dipastikan dapat bekerja dengan baik.

3.2 Pengujian Arduino

Pengujian rangkaian Arduino Uno R3 ini dilakukan dengan cara menghubungkan pin I/O Arduino Uno R3 dengan AVOMeter. Langkah pertama dengan membuat program dimana semua pin I/O Arduino dibuat menjadi output dan kondisi Arduino harus High, setelah itu menggunakan AVOMeter untuk mengukur tegangan pada pin Arduino. Dimana probe (+) AVOMeter tersambung dengan pin output Arduino dan probe (-) AVOMeter tersambung dengan pin GND Arduino.

TABEL III: HASIL PENGUJIAN ARDUINO

Pin	Tegangan	Pin	Tegangan
A0	4.96V	5	4.95V
A1	4.95V	6	4.95V
A2	4.95V	7	4.95V
A3	4.95V	8	4.95V
A4	4.95V	9	4.95V
A5	4.95V	10	4.95V
2	4.95V	11	4.95V
3	4.95V	12	4.95V
4	4.95V	13	4.95V

Berdasarkan Tabel III dapat disimpulkan bahwa Arduino Uno R3 dalam kondisi normal karena berhasil mengeluarkan output tegangan sebesar 4.95 Volt dan Arduino Uno R3 dapat digunakan.



3.3 Pengujian Driver BTS7960

Driver motor pompa DC yang digunakan pada penelitian ini adalah BTS7960 yang berfungsi untuk mengatur kecepatan pompa DC melalui fitur PWM pada komponen Arduino. Pengujian pada driver motor BTS7960 ini bertujuan untuk mengetahui kinerja driver.

TABEL IV : PENGUJIAN DRIVER BTS7960

PWM	Nilai Tegangan pada Avo (Volt)	Nilai Tegangan Set PWM (Volt)	Error (%)
0%	0	0	0
10%	1.23	1.2	2.5
20%	2.44	2.4	1.67
30%	3.62	3.6	0.56
40%	4.83	4.8	0.625
50%	6	6	0
60%	7.21	7.2	0.139
70%	8.4	8.4	0
80%	9.6	9.6	0
90%	10.78	10.8	0.185
100%	12	12	0
Error rata-rata			0.5679

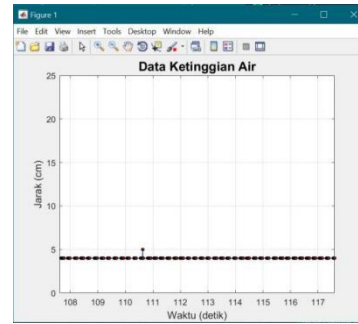
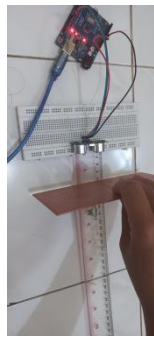
Berdasarkan data yang di peroleh, dapat diketahui tegangan output yang di hasilkan tidak jauh berbeda dengan nilai teori tegangan output. Error tegangan keluaram driver kurang dari 5%, maka dapat disimpulkan bahwa komponen ini tidak terdapat kerusakan.

3.4 Pengujian Grafik *Real-time* MATLAB

Pengujian Matlab dilakukan dengan cara menghubungkan port Arduino dengan PC kemudian memasukkan program. Setelah itu mengubah serial port sesuai dengan port PC yang terhubung dengan Arduino. Tujuan pengujian aplikasi matlab adalah untuk mengetahui apakah matlab dapat menampilkan grafik dari pembacaan sensor ultrasonik sesuai dengan jarak aktual secara *real-time*.

TABELV: PENGUJIAN GRAFIK MATLAB





3.5 Pengujian Kontrol PID

Berdasar Tabel VI dapat dilihat bahwa error tertinggi percobaan sebesar 5.4%. Air yang keluar melalui keran manual sebanding dengan air yang masuk lewat pompa, maka dari itu error yang dihasilkan tidak sebesar ketinggian lain.

TABEL VI: PENGUJIAN KETINGGIAN 10CM

Percobaan	<i>Delay Time</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Peak Time</i>	<i>Maksimum Overshoot</i>	<i>Error Steady-state</i>	<i>Settling Time</i>
1	38s	68s	81s	4.8%	0.3%	75s
2	40s	72s	76s	4.7%	1.6%	73s
3	38s	70s	76s	4.6%	4.9%	92s
4	38s	68s	74s	3.3%	5.3%	93s
5	32s	64s	70s	2.8%	5.4%	71s

Berdasar Tabel VII dapat dilihat bahwa error tertinggi percobaan sebesar 17.3%. Air yang keluar melalui keran manual tidak sebanding dengan air yang masuk lewat pompa, maka dari itu error yang dihasilkan cukup besar. Besarnya aliran air keluar disebabkan pula oleh tekanan fluida yang semakin besar sesuai dengan hukum fisika.

TABEL VII: PENGUJIAN KETINGGIAN 20CM

Percobaan	<i>Delay Time</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Peak Time</i>	<i>Maksimum Overshoot</i>	<i>Error Steady-state</i>	<i>Settling Time</i>
1	65s	95s	122s	9.45%	7.8%	175s
2	68s	116s	137s	3.55%	12.25%	148s
3	69s	114s	142s	3.55%	17.3%	144s
4	69s	113s	133s	5.4%	17.05%	138s
5	71s	115s	144s	2.75%	16%	145s

Pada Tabel VIII error yang dihasilkan sangat tinggi, karena pada ketinggian ini tekanan fluida berada pada posisi terbesarnya. Air yang keluar melalui keran Manual lebih besar daripada air yang masuk melalui pompa DC.



TABEL VIII: PENGUJIAN KETINGGIAN 30CM

Percobaan	Delay Time	Rise Time	Peak Time	Maksimum Overshoot	Error Steady-state	Settling Time
1	104s	114s	207s	2.73%	33.2%	225s
2	106s	123s	214s	2.13%	39%	215s
3	104s	121s	219s	2.3%	39.6%	220s
4	105s	122s	210s	3.05%	40%	220s
5	105s	121s	215s	3.5%	40%	217s

4. KESIMPULAN

1. Pada pengujian sensor jarak, perbandingan antara pembacaan sensor jarak dengan kalibrasi menggunakan alat ukur memiliki nilai error minimal kurang dari 5%. Dari nilai error tersebut menunjukkan bahwa sensor jarak dapat menunjukkan kinerja yang cukup akurat dan presisi dan sensor ultrasonic tepat untuk diimplementasikan ke dalam sistem ini.
2. Pada pengujian kontrol PID menggunakan metode Ziegler-Nichols kurva S, diperoleh parameter kontrol PID dengan nilai $K_p = 7.2$, $K_i = 0.4$, dan $K_d = 32.4$. Parameter tersebut diujikan pada 3 *set point* yang berbeda dan respon sistem yang terbaik ditunjukkan pada ketinggian 10cm dengan rata-rata *error steady-state* 3.24%.
3. Pada pengujian grafik MATLAB, disimpulkan bahwa langkah-langkah pada sub-bab 3.3.6 dapat menghasilkan grafik MATLAB secara real-time. Komunikasi yang dipakai antara Arduino dengan MATLAB adalah komunikasi serial.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhammad Arifin dkk., 2015. Modul Pengaturan Motor Pompa DC Brushless dengan Metode PID pada Sistem Kendali Terdistribusi untuk Kontrol Ketinggian Air. *JURNAL ELKOLIND, JULI 2015, VOLUME 2. NO.2*
- [2] Liza Safitri dkk., 2020. Sistem Water Level Otomatis Berbasis Mikropengontrol Dan Sms Gateway. *Bangkit Indonesia*, Vol. IX, No.01, Bulan Maret 2020
- [3] Alawiah dkk., 2017. Sistem Kendali dan Pemantauan Ketinggian Air pada Tangki Berbasis Sensor Ultrasonik. *KOPERTIP: Jurnal Ilmiah Manajemen Informatika dan Komputer ISSN: 2549-211X Vol. 01, No. 01 (2017)*.
- [4] Ananda Sri Murti dkk. 2020. Optimasi Unit PLTU Berbahan Bakar Batubara Menggunakan Metode Lagrange di PT. Indonesia Power Up Suralaya. *Jurnal SPEKTRUM Vol. 7, No. 1 Maret 2020*.
- [5] Ardian Saputra dkk. 2020. Pengaruh Level Ketinggian Air Terhadap Efisiensi Thermal pada *Cross Section Water Tube* Boiler Menggunakan Gas dan Solar Produksi Saturated Steam Proses Kontinyu. *Jurnal Kinetika Vol. 11, No. 02 (Juli 2020) : 50-54*.
- [6] Indra Saputra dkk. 2013. Perancangan Water Level Control Menggunakan PLC Omron Sysmac C200H Yang Dilengkapi Software SCADA Wonderware InTouch 10.5. *Jurnal Electrician Vol. 7 No. 1 (2013)*.
- [7] Muizz, M.N. 2019. Rancang Bangun Pengendalian Level Air Otomatis pada Tangki dengan Servo Valve Berbasis PID Controller. *Jurnal Teknik Elektro. Volume 08 Nomor 01 Tahun 2019, 155-162*.
- [8] Indrayana, I.P. 2017. Pengujian Akuisisi Data Sensor Ultrasonik HC-SR04 Dengan Mikrokotroler ATMega 8535. *Jurnal Ilmiah: Universitas Halmahera*.
- [9] Setya, Rizal Braman. 2018. Modul Sistem Pengaturan Suhu Mini Boiler dengan Metode PID Menggunakan PLC dan HMI. *Skripsi. Politeknik Negeri Malang*.
- [10] Ainurrohmah, Arista. 2018. Kontrol Laju Alir Pompa Air Berpenggerak Brushless DC Motor. Tugas Akhir. *Institut Teknologi Sepuluh Noverber*.
- [11] Manawan, Rizal. 2016. Aplikasi Kontrol WLC pada Pengolahan Air Kotor di Novotel Manado. Tugas Akhir. *Politeknik Negeri Manado*.

