

**IMPLEMENTASI PENGENDALI GANDA PADA TANGKI KEMBAR
MENGUNAKAN KENDALI PI KASKADE
IMPLEMENTATION OF DOUBLE CONTROLLER ON TWIN TANK USING PI
CASCADE CONTROL**

Muhammad Luthfi Fadhlurrahman¹, Sony Sumaryo², Agung Surya Wibowo³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹mluthfif@students.telkomuniversity.ac.id, ²sonvsumarvo@telkomuniversity.ac.id,

³agungsuryawibowo@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pengendalian sebuah sistem untuk mengatur ketinggian air merupakan kegiatan yang sangat penting. Pada sistem kendali ketinggian air yang sudah ada saat ini, masih terdapat beberapa masalah yang terjadi, yaitu pemborosan air, kerusakan alat, dan kecelakaan kerja akibat pengendalian ketinggian air yang tidak sesuai. Oleh karena itu, untuk mengurangi masalah tersebut perlu dilakukan pengembangan terhadap sistem kendali air sehingga dapat berkerja lebih optimal.

Implementasi pengendali ganda pada tangki kembar menggunakan algoritma PI kaskade merupakan salah satu solusi untuk menjawab permasalahan tersebut. Algoritma PI Kaskade digunakan untuk mengendalikan pergerakan motorized valve pada saluran air antara dua tangki untuk menyesuaikan ketinggian air pada tangki utama dengan setpoint.

Pengujian dan Analisis sistem yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini memiliki hasil pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04 dengan rata-rata error 0,332 cm dan standar deviasi 0,029 cm pada kondisi tanpa gangguan, serta rata-rata error 0,829 cm dan standar deviasi 0,361 cm pada kondisi dengan gangguan. Respon sistem pada sistem satu tangki, dengan hasil rise time 218 detik, overshoot 0,0634 cm, dan error steady state 0,8 cm pada kondisi tanpa gangguan, serta rise time 285 detik, overshoot 0,026 cm, dan error steady state 0,7 cm pada kondisi dengan gangguan. Respon sistem pada sistem tangki kembar, dengan hasil rise time 443 detik, overshoot 0,0255 cm, dan error steady state 0,1 cm pada kondisi tanpa gangguan, serta rise time 307 detik, overshoot 0,0188 cm, dan error steady state 0,1 cm pada kondisi dengan gangguan.

Kata Kunci : sistem kendali, ketinggian air, kendali PI kaskade, setpoint.

Abstract

Control of a system to set water level is a very important activity. In existing water level control system, some problem still occurs, such as waste of water, equipment failure and work accidents, due to inappropriate water level control. Therefore, to reduce these problems, it's necessary to develop on existing water level control system, so the system can work more optimally.

Implementation of double controller on twin tank using PI Cascade control is one solution to answer these problems. PI Cascade algorithms is used to control the movement of motorized valve on the water channel between two tanks to adjust main tank water level with setpoint.

Tests and analyzes result in this final project has HC-SR04 ultrasonic sensors readings with average error 0,332 cm and standard deviation 0,029 cm without disturbance, and average error 0,829 cm and standard deviation 0,361 cm with disturbace. System response of single tank system, with result rise time 218 second, 0,0634 evershoot, and error steady state 0,8 cm without disturbance, and rise time 285 second, overshoot 0,026 and error steady state 0,7 cm with disturbance. System response of twin tank system, with result rise time 443 second, overshoot 0,0255, and error steady state 0,1 cm without disturbance, and rise time 307 second, overshoot 0,0188 cm, and error steady state 0,1 cm with disturbance.

Keywords: control system, water level, PI cascade control, setpoint.

1. Pendahuluan

Menurut data Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia, hingga tahun 2015, pemborosan air bersih senilai Rp 791,2 miliar terjadi di 102 pemerintah kabupaten, kota, dan PDAM^[21]. Menurut data Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS) Ketenagakerjaan, terdapat 123 ribu kasus kecelakaan kerja terjadi di Indonesia sepanjang tahun 2017. Jumlah ini meningkat 20% jika dibandingkan dengan tahun 2016^[22]. Berdasarkan data tersebut pengendalian suatu sistem menjadi hal yang sangat penting untuk diperhatikan, terutama untuk kebutuhan air diberbagai bidang, yaitu pada kehidupan sehari-hari dan dunia industri.

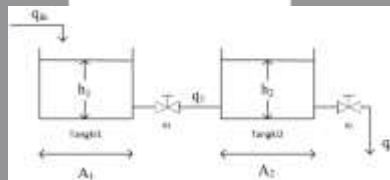
Masalah-masalah yang terjadi pada sistem kendali ketinggian air konvensional yaitu, masih terdapat error yang besar akibat pengaruh gangguan, error yang akan terjadi masih belum dapat diprediksi, dan proses untuk mencapai setpoint terkadang membutuhkan waktu yang lama^[4]. Implementasi pengendali ganda pada tangki kembar menggunakan kendali PI kaskade merupakan salah satu solusi untuk menjawab permasalahan yang terjadi pada pengendalian ketinggian air agar menjadi lebih optimal.

Dengan demikian, pada penelitian tugas akhir ini membahas mengenai implementasi pengendali ganda menggunakan kendali PI kaskade untuk sistem kendali ketinggian air pada tangki kembar. Pada implementasi tersebut, prototipe sistem kendali ketinggian air menggunakan pengendali ganda dengan dua feedback agar pengendalian sistem dapat dilakukan secara kaskade^[3].

2. Dasar Teori dan Perancangan

2.1. Pemodelan Sistem Tangki Kembar

Gambar II-1 menunjukkan diagram dua tangki air yang terhubung. Laju aliran air ke dalam tangki1 adalah q_{in} (cm³/sec), laju aliran air dari tangki1 ke tangki2 adalah q_1 (cm³/sec), dan laju aliran dari tangki2 adalah q_0 (cm³/sec). Ketinggian level air pada tangki1 adalah h_1 (cm) dan tangki2 adalah h_2 (cm). kedua tangki memiliki ukuran luas penampang yang sama, dimana A_1 (cm²) sebagai luas penampang tangki1 dan A_2 (cm²) sebagai luas penampang tangki2^[2].



Gambar 1. Rangkaian Sensor ZMPT101B.

Untuk satu tangki

$$\frac{h_1(s)}{q_{in}(s)} = \frac{R_1}{R_1 A_1 S + 1} \quad (2.1)$$

Untuk dua tangki

$$\frac{h_2(s)}{q_{in}(s)} = \frac{R_2}{A_1 R_1 A_2 R_2 S^2 + S(A_1 R_1 S + A_1 R_2 + A_2 R_2) + 1} \quad (2.2)$$

2.2. Pengendali PI

Pengendali PI adalah suatu penggabungan aksi kendali yang terdiri dari aksi kendali proporsional ditambah dengan aksi kendali integral^[1]. Aksi kendali dari pengendali PI didefinisikan dengan persamaan (14).

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (2.3)$$

Dimana:

$u(t)$ = masukan kendali

K_p = Penguat Proporsional

$e(t)$ = selisih antara nilai *setpoint* dengan hasil *output* proses

T_i = waktu integral

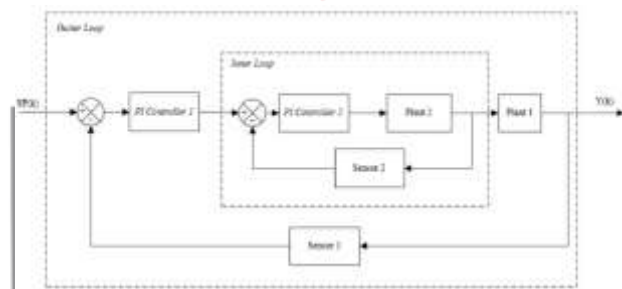
t = waktu

Atau fungsi alih pengendali ini adalah

$$\frac{u(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (2.4)$$

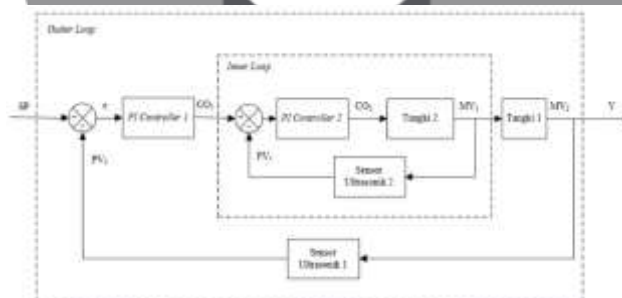
2.3. Pengendali Kaskade

Pengendali kaskade atau yang biasa disebut dengan pengendali *cascade* merupakan teknik kendali yang sering digunakan dalam proses sistem kendali. Sebuah pengendali kaskade memiliki struktur yang sangat efektif karena performa pengendaliannya lebih baik dari pengendali tunggal^[3]. Pengendali ini memiliki dua buah umpan balik, dengan keluaran dari pengendali primer (*master*) mengubah *setpoint* dari pengendali sekunder (*slave*). Tujuan utama dari pengendali kaskade adalah untuk mengeliminasi pengaruh gangguan, serta meningkatkan atau memperbaiki kedinamisan performa sistem kendali^[4]. Gambar II-4 merupakan diagram blok pengendali kaskade.



Gambar 2. Diagram Blok Pengendali Kaskade^[3].

2.4. Diagram Blok Sistem



Gambar 3. Diagram Blok Sistem Kendali Ketinggian Air^[3].

Diagram blok pada pada Gambar III-1 merupakan diagram blok sistem kendali ketinggian air pada tugas akhir ini. Diagram blok tersebut menunjukkan cara kerja sistem yang dirancang. Pada tahap awal, *setpoint* untuk ketinggian air ditentukan, kemudian dari *setpoint* yang ditentukan tersebut akan muncul *error* yang berasal dari ketinggian air aktual terhadap *setpoint*. *Setpoint* dan *error* tersebut akan diolah oleh perhitungan metode kendali PI kaskade sehingga didapat keluaran kendali (*Control Output*). Selanjutnya, *electric control valve* akan melakukan aksi kendali untuk memanipulasi nilai *control output* agar sesuai dengan *setpoint* awal yang telah ditentukan. Ketinggian air yang terjadi selama proses sistem bekerja dibaca oleh sensor sehingga didapatkan nilai proses (*Process Value*). Apabila *process value* tidak sesuai dengan *setpoint*, maka nilai tersebut akan diproses kembali sampai mendapatkan ketinggian air yang sesuai dengan *setpoint*.

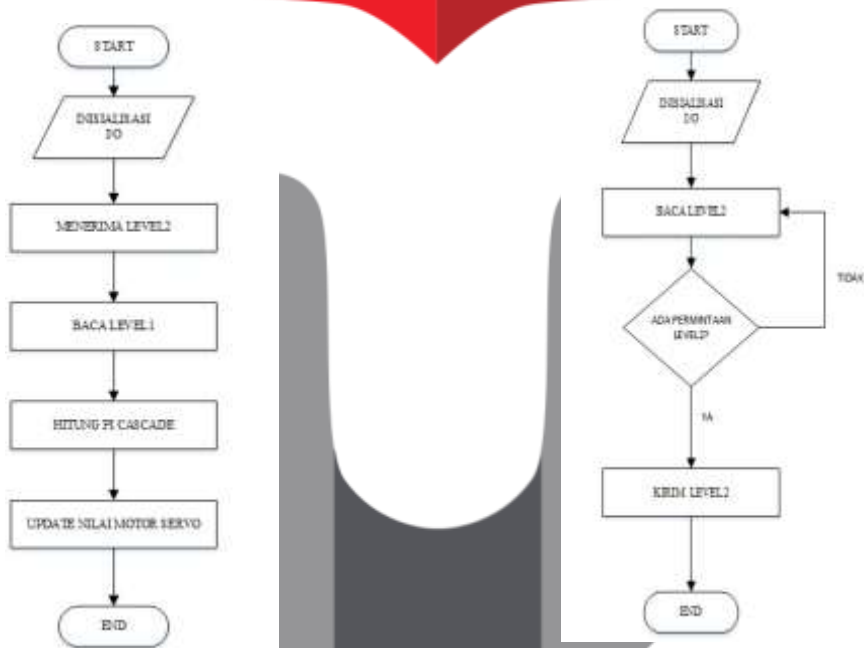
2.5. Rancang Perangkat Keras



Gambar 4. Rancang Prototipe Tangki Kembar.

Gambar 2-3 merupakan rancang prototipe Tangki kembar dengan pengendali ganda menggunakan algoritma PI Kaskade.

2.6. Rancang Perangkat Lunak



Gambar 5. Diagram Alir Sistem Master. Gambar 6. Diagram Alir Sistem Master.

3. Hasil Pengujian dan Analisis

3.1. Hasil Pengujian dan Analisis Sensor Ultrasonik HC-SR04

No.	Tanpa Gangguan		Dengan Gangguan	
	Rata-rata Error	Standar Deviasi	Rata-rata Error	Standar Deviasi
1	0.332	0.029	0.829	0.361

Tabel 1. Rata-rata Error dan Standar Deviasi dari Data Tabel IV.1.

Berdasarkan tabel IV.1, pada kondisi air tenang (tanpa gangguan) rata-rata error pembacaan sensor adalah 0.332 cm dan standar deviasi 0.029 cm. Sedangkan, pada pengujian dengan kondisi air tidak tenang (dengan gangguan) rata-rata error pembacaan adalah 0.829 cm dan standar deviasi 0.361 cm.

No.	Tanpa Gangguan		Dengan Gangguan	
	Rata-rata Error	Standar Deviasi	Rata-rata Error	Standar Deviasi
1	0.682	0.028	1.258	0.803

Tabel 2. Rata-rata Error dan Standar Deviasi dari Data Tabel IV.3.

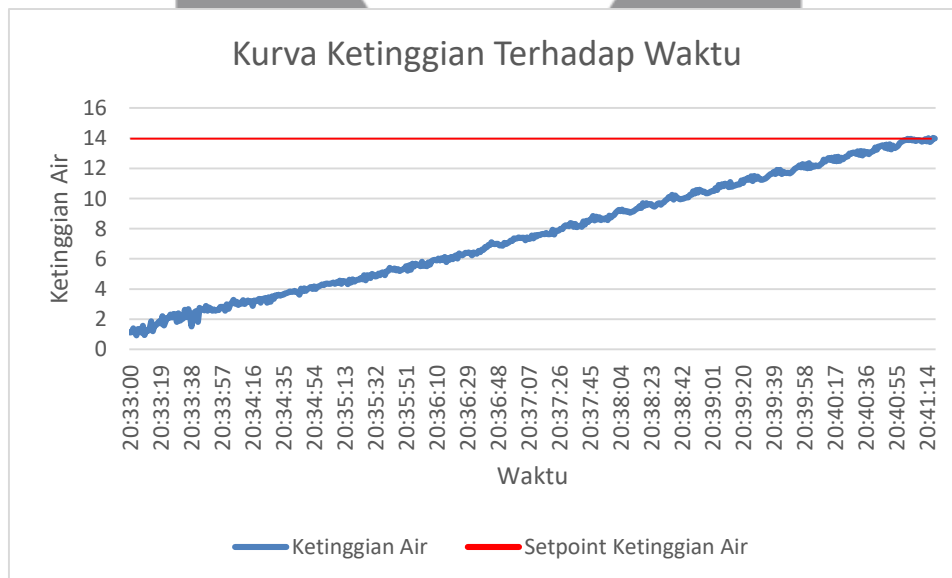
Berdasarkan tabel IV.3, pada kondisi air tenang (tanpa gangguan) rata-rata error pembacaan sensor adalah 0.682 cm dan standar deviasi 0.028 cm. Sedangkan, pada pengujian dengan kondisi air tidak tenang (dengan gangguan) rata-rata error pembacaan adalah 1.258 cm dan standar deviasi 0.803 cm.

No.	Tanpa Gangguan		Dengan Gangguan	
	Rata-rata Error	Standar Deviasi	Rata-rata Error	Standar Deviasi
1	1.019	0.015	1.423	0.579

Tabel 3. Rata-rata Error dan Standar Deviasi dari Data Tabel IV.5.

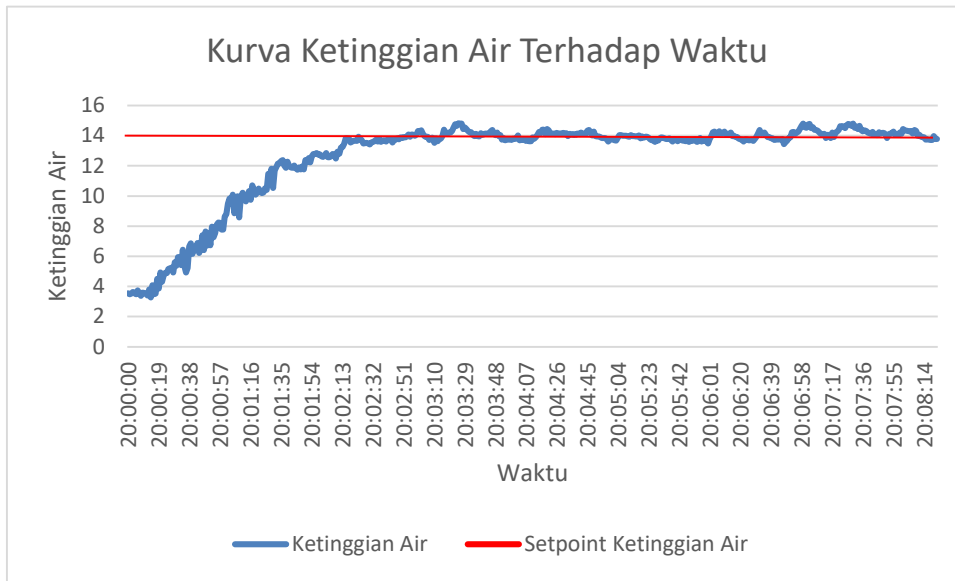
Berdasarkan tabel IV.5, pada kondisi air tenang (tanpa gangguan) rata-rata error pembacaan sensor adalah 1.019 cm dan standar deviasi 0.015 cm. Sedangkan, pada pengujian dengan kondisi air tidak tenang (dengan gangguan) rata-rata error pembacaan adalah 1.423 cm dan standar deviasi 0.579 cm.

3.2. Hasil Pengujian dan Analisis Respon Sistem Satu Tangki dan Sistem Tangki Kembar Tanpa Gangguan



Gambar 7. Kurva Hasil Pengujian *Setpoint* 14 cm Tanpa Gangguan pada Sistem.

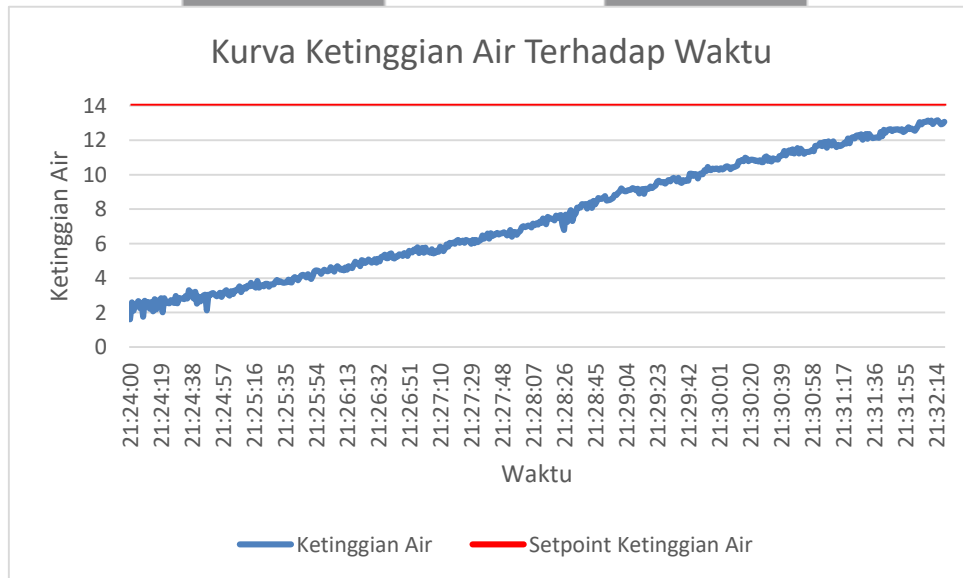
Berdasarkan Gambar 7, pengujian pada setpoint 14 cm sistem satu tangki tanpa gangguan, memiliki *rise time* 8 menit.



Gambar 8. Kurva Hasil Pengujian *Setpoint* 14 cm Tanpa Gangguan pada Sistem.

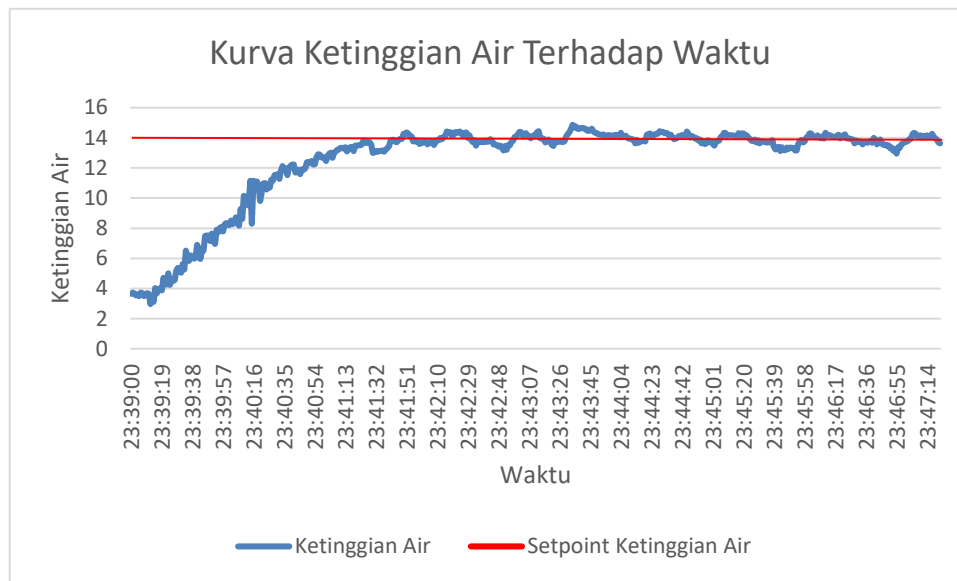
Berdasarkan Gambar 8, pengujian pada *setpoint* 14 cm sistem dua tangki tanpa gangguan, memiliki *rise time* 2 menit dan *error setady state* 0,3 cm.

3.3. Hasil Pengujian dan Analisis Respon Sistem Satu Tangki dan Sistem Tangki Kembar Dengan Gangguan



Gambar 9. Kurva Hasil Pengujian *Setpoint* 14 cm Tanpa Gangguan pada Sistem.

Berdasarkan Gambar 9, pengujian pada *setpoint* 14 cm sistem satu tangki tanpa gangguan, membutuhkan *waktu rise time* yang terlalu lama untuk mencapai *setpoint*.



Gambar 10. Kurva Hasil Pengujian Setpoint 14 cm Tanpa Gangguan pada Sistem.

Berdasarkan Gambar 10, pengujian pada setpoint 14 cm sistem dua tangki dengan gangguan, memiliki *rise time* 2 menit dan *error steady state* 0,1 cm.

4. Kesimpulan

1. Implementasi pengendali ganda pada tangki kembar menggunakan kendali PI kaskade untuk sistem kendali ketinggian air dilakukan melalui tahap pemodelan sistem, perancangan perangkat keras, dan perancangan perangkat lunak.
2. Desain dan implementasi yang dilakukan harus sesuai dengan pemodelan sistem, perancangan perangkat keras, dan perancangan perangkat lunak agar dapat diperoleh performa sistem yang diinginkan.
3. Hasil pengujian dan analisis pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04 dengan kondisi tanpa gangguan pada ketinggian air 10 cm memiliki rata-rata error 0,332 cm dan standar deviasi 0,029 cm, pada ketinggian air 20 cm memiliki rata-rata error 0,682 cm dan standar deviasi 0,028 cm, serta pada ketinggian air 30 cm memiliki rata-rata error 1,019 cm dan standar deviasi 0,015 cm. Sedangkan untuk kondisi dengan gangguan, pada ketinggian air 10 cm memiliki rata-rata error 0,829 cm dan standar deviasi 0,361 cm, pada ketinggian air 20 cm memiliki rata-rata error 1,258 cm dan standar deviasi 0,803 cm, serta pada ketinggian air 30 cm memiliki rata-rata error 1,423 cm dan standar deviasi 0,579 cm.
4. Hasil pengujian dan analisis respon sistem pada sistem satu tangki dengan kondisi tanpa gangguan pada setpoint ketinggian air 7 cm memiliki *rise time* 218 detik, *overshoot* 0,0634 cm dan *error steady state* 0,8 cm, pada setpoint ketinggian air 14 cm memiliki *rise time* 498 detik, *overshoot* 0,0215 cm dan *error steady state* 0,8 cm, serta pada ketinggian 20 cm memiliki *rise time* lebih dari 500 detik. Sedangkan untuk kondisi dengan gangguan, pada setpoint ketinggian air 7 cm memiliki *rise time* 285 detik, *overshoot* 0,0260 cm dan *error steady state* 0,7 cm, serta pada setpoint ketinggian air 14 cm dan 20 cm memiliki *rise time* lebih dari 500 detik.
5. Hasil pengujian dan analisis respon sistem pada sistem tangki kembar dengan kondisi tanpa gangguan pada setpoint ketinggian air 7 cm memiliki *rise time* 79 detik, *overshoot* 0,0493 cm dan *error steady state*

0,3 cm, pada setpoint ketinggian air 14 cm memiliki rise time 147 detik, overshoot 0,0842 cm dan error steady state 0,1 cm, serta pada setpoint ketinggian 20 cm memiliki rise time 443 detik, overshoot 0,0255 cm dan error steady state 0,1 cm. Sedangkan untuk kondisi dengan gangguan, pada setpoint ketinggian air 7 cm memiliki rise time 70 detik, overshoot 0,0527 cm dan error steady state 0,3 cm, pada setpoint ketinggian air 14 cm memiliki rise time 169 detik, overshoot 0,2662 cm dan error steady state 0,3 cm, serta pada setpoint ketinggian 20 cm memiliki rise time 307 detik, overshoot 0,0188 cm dan error steady state 0,1 cm.

5. Saran

Untuk penelitian selanjutnya, agar sistem bekerja lebih baik dan memperbaiki kekurangan yang ada pada sistem ini, maka disarankan:

1. Sebaiknya reservoir sebaiknya memiliki dimensi yang lebih besar dari tangki utama
2. Penggunaan motor servo tidak terlalu melakukan rotasi sering dan mengambil derajat besar, karena akan mempengaruhi umur pakai servo.
3. Menggunakan lem kaca antara pipa saluran air dan tangki akrilik agar tidak bocor.

Daftar Pustaka:

- [1] [1 Ogata, Katsuhiko. 1996. *Teknik Kontrol Automatik*. Jakarta : Erlangga.
- [2] Fellani, Mostafa A., Gabajz, Aboubaker M. (2015). *PID Controller Design for Two Tanks Liquid Level Control System using Matlab*. 2015 International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE).
- [3] Muhlis, Nur. 2011. *Perancangan Kontroler Kaskade Fuzzy untuk Pengaturan Tekanan pada Pressure Control Trainer 38-714*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November.
- [4] Luyben, Michael L., Luyben, William L. 1997. *Essentials of Process Control*. Singapore : McGraw-Hill.
- [5] Krishnamurthi, V. 2014. *Control System*. New Delhi : CBS Publisher & Distributors Pvt Ltd.
- [6] Astrom Karl J., Hagglund, Tore. 1995. *PID Controllers: Theory, Design, and Tuning*. United States of America: Instrument Society of America.
- [7] Ibrahim, Dogan. 2006. *Microcontroller Based Applied Digital Control*. Chichester : John Wiley & Sons Ltd.
- [8] Banzi, Massimo. 2009. *Getting Started with Arduino*. U.S.A : O'Reilly.
- [9] Huges, Austin. 2006. *Electric Motors and Drives 3rd Edition*. Oxford : Elsevier Ltd.
- [10] Douglas, Jones W. 1995. *Control of Stepping Motors*. Iowa : The University of Iowa Department of Computer Science.
- [11] Hermen, Stephen L. *Electric Motor Control 9th Edition*. Delmar : Cengage Learning.