

DESAIN DAN IMPLEMENTASI KONTROL KETINGGIAN AIR MENGUNAKAN KONTROL PID ADAPTIF

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF WATER LEVEL CONTROL USING ADAPTIVE PID CONTROL

Singgih Prabowo Almanda, ^[1] Erwin Susanto, S.T.,M.T., Ph.D. ^[2], Agung Surya Wibowo, S.T.M.T. ^[3]

Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

¹ singgih.prabowo.almanda@gmail.com, ²erwinelektro@telkomuniversity.ac.id,

³agungsw@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sistem kontrol terdiri atas sekumpulan piranti-piranti dan peralatan elektronik yang mampu menangani kestabilan, akurasi, dan mengeliminasi kesalahan pada sistem. Kontrol ketinggian air merupakan salah satu sistem yang membutuhkan tingkat kestabilan. Kontrol ketinggian air ini sangat banyak dibutuhkan dalam dunia industri, misalnya dalam industri kimia, proses produksi minyak dan gas, dan lain-lain. Pada tugas akhir ini penulis membuat atau mendesain sistem kontrol yang dapat memberikan kestabilan pada ketinggian air. Kestabilan ketinggian air ini akan dirancang dengan implementasi *PID Adaptif*. Penggunaan metode ini dimaksudkan untuk sistem kontrol mampu beradaptasi terhadap *setpoint* yang berubah-ubah. Pada perancangan alat pengontrolan ketinggian air ini menggunakan *sensor ultrasonik* sebagai *feedback*, *Arduino Mega 250* sebagai kontrolernya dan pompa motor DC sebagai *aktuator*. Setelah kendali *PID Adaptif* direalisasikan terhadap sistem kontrol ketinggian level air menghasilkan *rise time* pada *setpoint* dari 8 cm hingga 17 cm yang cenderung sama yaitu dengan rata-rata $\pm 46,6$ detik dan *settling time* dengan rata-rata ± 54 detik, memiliki *overshoot* sekitar ± 0.09 cm dan *error steady-state respon* tidak ada.

Kata Kunci : Sistem Kontrol, *PID Adaptif*, ketinggian air, *rise time*, *settling time*, *overshoot*

Abstract

The control system consists of a set of devices and equipment electronic equipment capable of handling stability, accuracy, and eliminating errors in the system. Water level control system is one that requires a level of stability. Control the water level is very much needed in the world of industry, for example in the chemical industry, oil and gas production processes, and others. In this thesis the author to create or design a control system that can provide stability at the height of the water. Perfect stability of this water level will be designed with adaptive PID implementation. The use of this method is intended for the control system is able to adapt to the changing setpoint. At the height of the water control equipment design uses ultrasonic sensors as feedback, Arduino Mega 250 as the controller and pump DC motor actuators. After Adaptive PID control is realized to the height of water level control system resulted in rise time on the setpoint of 8 cm to 17 cm are likely to equal that with an average ± 46.6 seconds and settling time by an average of ± 54 seconds, has overshoot of about ± 0.09 cm and error steady-state of response does not exist.

Key Word : Control System, Adaptive PID, water level, rise time, settling time, overshoot

1. Pendahuluan

“Sistem kontrol (*control system*) merupakan suatu kumpulan cara atau metode yang dipelajari dari kebiasaan-kebiasaan manusia dalam bekerja, dimana manusia membutuhkan suatu pengamatan kualitas dari apa yang telah mereka kerjakan sehingga memiliki karakteristik sesuai dengan yang diharapkan pada mulanya. Sistem kontrol proses terdiri atas sekumpulan piranti-piranti dan peralatan elektronik yang mampu menangani kestabilan, akurasi, dan mengeliminasi transisi status yang berbahaya dalam proses produksi”^[1]. Dengan banyaknya dinamika yang terjadi dalam suatu sistem, sistem kontrol menjadi solusi yang handal untuk menjaga kestabilan sistem.

Salah satu hal yang membutuhkan kestabilan sistem adalah pengontrolan ketinggian air. Kontrol ketinggian air merupakan salah satu dari sekian banyak sistem yang ada dalam dunia industri. Selain sederhana, sistem tersebut banyak sekali digunakan dalam dunia industri, misalnya: industri kimia, proses produksi minyak dan gas, dan lain-lain. Beberapa nilai parameter yang dimiliki oleh sistem pengontrolan ketinggian air ini tidak dapat bernilai konstan atau dapat dikatakan bahwa sistem pengontrolan ketinggian air tersebut bersifat non-linier. Berdasarkan sifat non-linier tersebut, maka dibutuhkan sebuah sistem kontrol yang bersifat adaptif agar dapat beradaptasi terhadap perubahan lingkungan eksternal maupun internalnya.

Pada tugas akhir ini dibuat alat berupa sistem pengontrolan ketinggian air otomatis yang dilengkapi pompa motor DC sebagai pengontrol ketinggian air. Sistem ini dilengkapi dengan sensor PING yang digunakan sebagai *feedback* yang membaca ketinggian aktual. Pada pompa ini kecepatan motor diatur

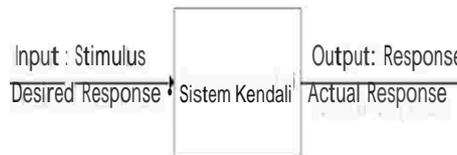
menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) yang ada pada rangkaian sistem kontrol Arduino Mega 2560 dengan pemrogramannya menggunakan bahasa C.

2. Dasar Teori

2.1 Sistem Kendali

Sistem kendali adalah suatu susunan komponen fisik yang terhubung atau terkait sedemikian rupa sehingga dapat memerintah, mengarahkan, atau mengatur diri sendiri atau sistem lain^[7]. Di dalam dunia *engineering* *danscience* sistem kendali cenderung dimaksudkan untuk sistem kendali dinamis.

Sistem kendali terdiri dari sub-sistem dan proses (atau *plants*) yang disusun untuk mendapatkan keluaran(output) dan kinerja yang diinginkan dari input yang diberikan^[6]. Gambar di bawah ini menunjukkan blok diagram untuk sistem kendali paling sederhana, sistem kendali membuat sistem dengan input yang diberikan menghasilkan output yang diharapkan



Gambar 1 Deskripsi sederhana sistem kendali

2.2 Kontrol PID^[4]

Kontrol PID merupakan kontroler mekanisme umpan balik yang biasanya dipakai pada sistem kontrol industry. Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis, yaitu Proporsional(P), Integral (I) dan Derivative (D). Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant. Berikut ini adalah persamaan PID dalam waktu diskrit

$$P(z) = k_p E(z) \tag{1}$$

$$I(z) = \frac{K}{1-z^{-1}} E(z) \tag{2}$$

$$D(z) = K_d (1-z^{-1})E(z) \tag{3}$$

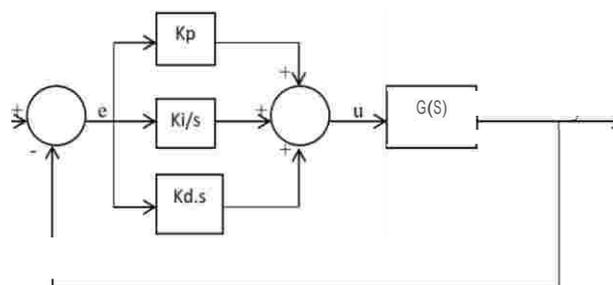
Maka jika masing-masing dirubah kedalam bentuk persamaan beda, akan menjadi :

$$u(n) = k_p e(n) \tag{4}$$

$$u(n) = u(n-1) + K e(n) \tag{5}$$

$$u(n) = u(n-1) + K_d (e(n) - e(n-1)) \tag{6}$$

$$u(n) = K_d (e(n) - e(n-1)) \tag{7}$$



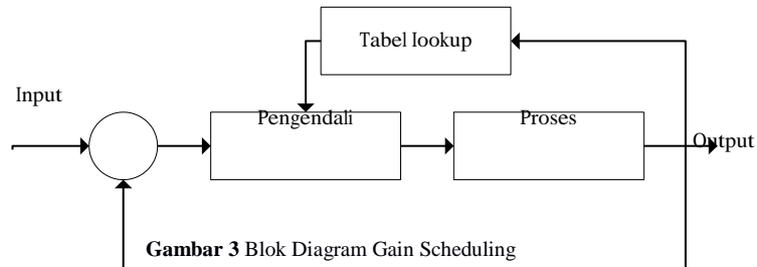
Gambar 2 Blok diagram kontrol PID

2.3 Gain Scheduling

Gain Scheduling adalah sebuah metode dimana parameter kendali PID diatur berdasarkan jadwal pada setiap titik kerja atau kondisi operasi sesuai dengan yang diharapkan^[10]. Hal ini dimaksudkan agar respon sistem yang diberikan menjadi lebih baik pada daerah respon yang memiliki beban yang berbeda. *Gain Scheduling* adalah teknik yang cocok untuk proses kendali nonlinier yang memiliki variansi waktu atau situasi dimana diperlukan perubahan kendali pada kondisi operasi tertentu. Untuk menggunakan teknik ini perlu mencari variabel terukur yang dinamakan *scheduling variable* yang berhubungan dengan dinamika proses.

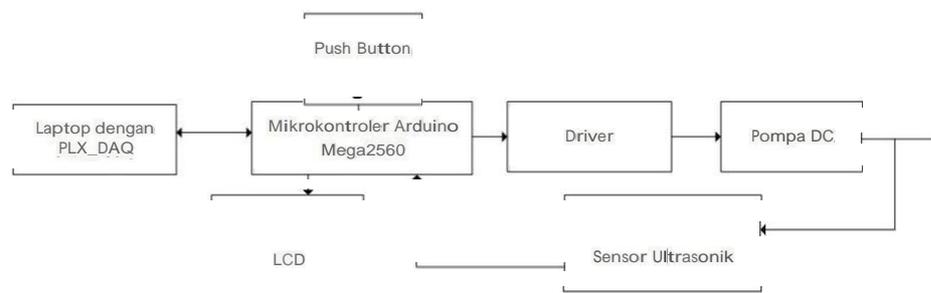
	K_P	T_I	T_D
Kondisi 1	K_{P1}	T_{I1}	T_{D1}
Kondisi 2	K_{P2}	T_{I2}	T_{D2}
Kondisi --	--	--	--
Kondisi n	K_{Pn}	T_{In}	T_{Dn}

Tabel 1 Himpunan parameter PID untuk berbagai proses



2.4 Gain Scheduling

Perancangan sistem direalisasikan dalam bentuk tahap blok sistem yang saling berintegrasi untuk mencapai sebuah sistem kendali PID adaptif. Blok sistem terdiri dari bagian masukan, bagian proses dan bagian keluaran. Pada bagian masukan terdapat dua bagian masukan, yaitu masukan oleh *user* yang berupa nilai *setpoint* ketinggian melalui masukan eksternal dari *pushbutton* dan masukan pulsa-pulsa dari umpan balik sensor ultrasonic. Pada bagian proses terdapat tiga bagian proses, yaitu proses pemilihan daerah kerja yang sesuai, proses perhitungan oleh kendali PID, dan proses pemetaan hasil perhitungan kendali PID sesuai dengan batasan daerah kerjanya. Pada bagian keluaran terjadi proses perputaran motor DC, menampilkan hasil perubahan ketinggian ke dalam bentuk trayektori pada software PLX-DAQ secara serial dan menampilkan nilai *setpoint*, ketinggian actual dan nilai error pada LCD 16x2. Berikut ini adalah blok diagram sistem yang dibuat.



Gambar 4 Blok diagram sistem

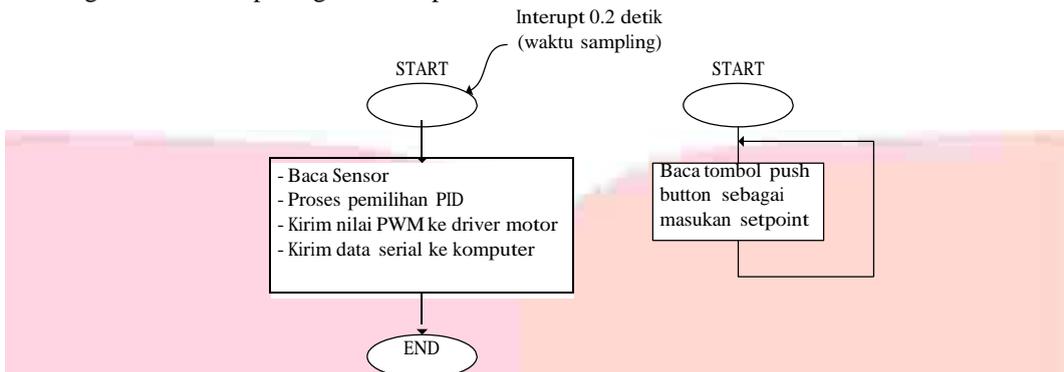
2.5 Kendali PID Adaptif

Dalam kendali adaptif yang dirancang pada tugas akhir ini dibuat menjadi empat jenis PID untuk *range* ketinggian tertentu dimana dalam setiap kendali PID memiliki nilai variable kendali K_p , K_i dan K_d yang berbeda-beda. Pembagian daerah kerja ini berdasarkan pada parameter batasan daerah kerja PWM terhadap linearitas ketinggian air yang dihasilkan oleh pompa motor DC. Batasan daerah kerja yang diinisialisasikan berdasarkan uji coba pada perubahan ketinggian muka air dengan nilai PWM yang berbeda dan kemudian data hasil uji coba di plot kedalam bentuk dinamika dan menghasilkan efek non linear. Pada saat perubahan nilai *setpoint* dari tingkat ketinggian, maka pemilihan daerah kerja akan disesuaikan dengan jenis PID yang akan digunakan. Berikut ini adalah table kemungkinan dalam jenis PID :

Daerah kerja PWM terhadap ketinggian		Jenis PID yang digunakan
Rentang Ketinggian	Rentang PWM	
7.9cm hingga 13.11cm	90 hingga 164	PID 1
13.12cm hingga 13.96cm	165 hingga 189	PID 2
13.97cm hingga 16.96 cm	190 hingga 229	PID 3
16.97cm hingga 23 cm	230 hingga 255	PID 4

Tabel 2 Tabel kemungkinan kondisi yang dicapai

2.6 Perancang dan Realisasi perangkat lunak pada Arduino



Gambar 5 Pembagian kerja program pada mikrokontroler

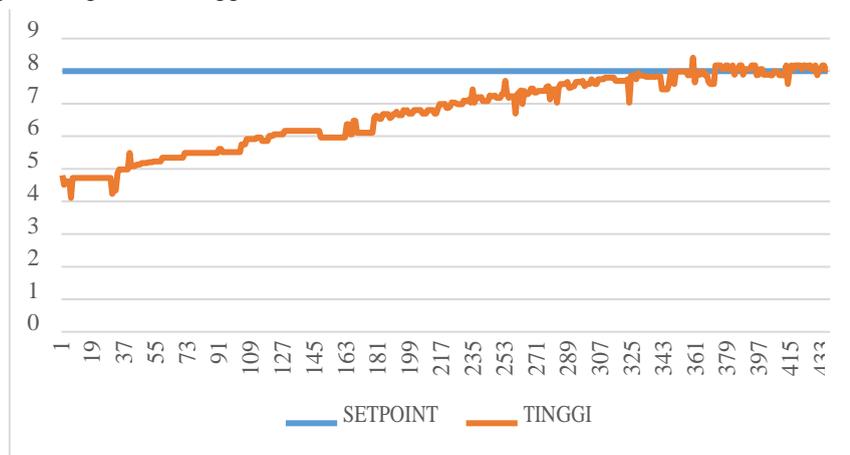
Dapat dilihat terdapat dua bagian program yang diproses dalam pengendalian sistem. Bagian pertama merupakan bagian utama pengendali. Pada bagian ini terdapat empat proses yang dilakukan selama waktu sampling 0,2 detik, yaitu pembacaan sensor, proses pemilihan PID yang akan digunakan, pengiriman nilai PWM ke driver motor dan yang terakhir mengirimkan data serial ke komputer. Bagian kedua merupakan program yang selalu menunggu masukan dari *pushbutton* secara terus-menerus.

3. Pembahasan

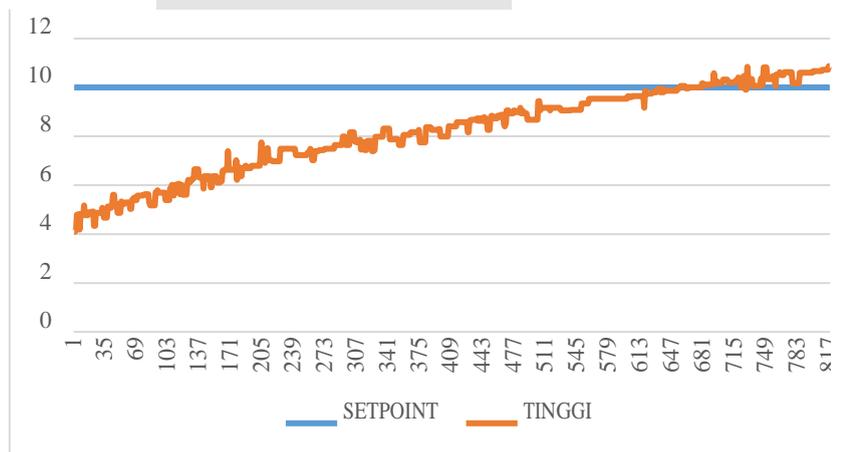
3.1 Pengujian dan Analisa

Pada bagian pengujian penulis melakukan dua jenis pengujian, yaitu pengujian sistem dengan menggunakan PID tunggal dan pengujian sistem dengan menggunakan PID adaptif. Berikut hasil pengujiannya :

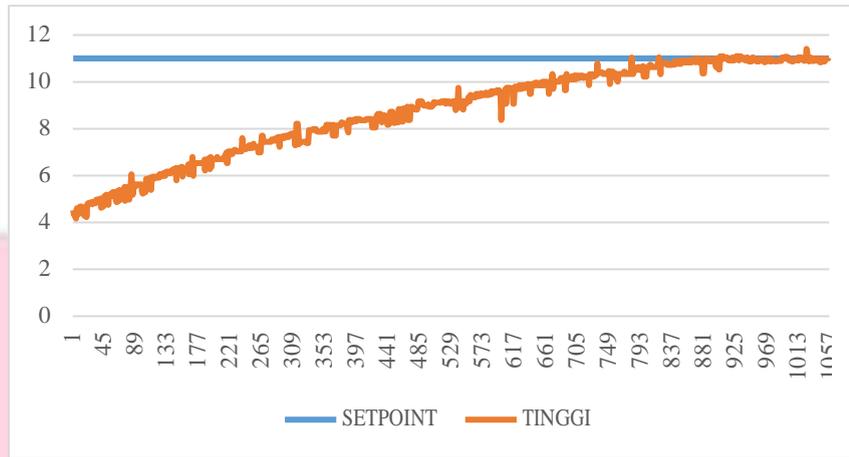
- Pengujian dengan PID tunggal



Gambar 6 Hasil pengujian PID tunggal dengan setpoint 8cm



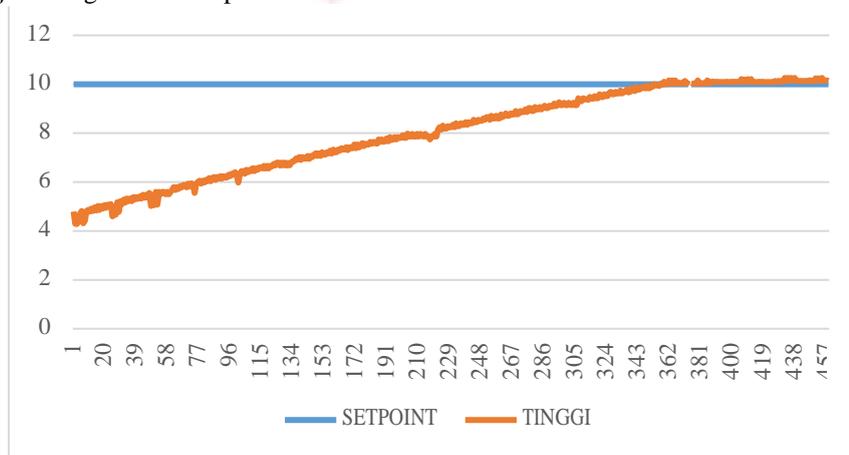
Gambar 7 Hasil pengujian PID tunggal dengan *setpoint* 10 cm



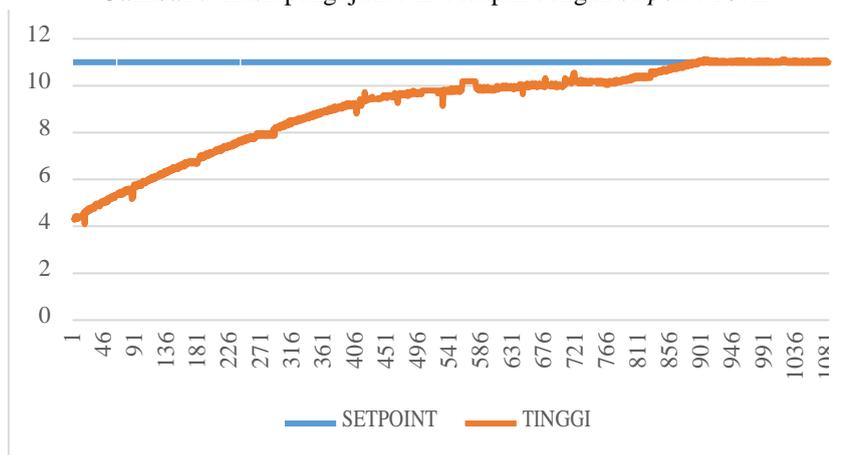
Gambar 8 Hasil pengujian PID tunggal dengan *setpoint* 11 cm

Dapat dilihat dari tiga jenis pengujian yang dilakukan dengan PID tunggal bahwa dengan menggunakan satu jenis PID belum mampu mengendalikan 3 jenis *setpoint* yang berubah.

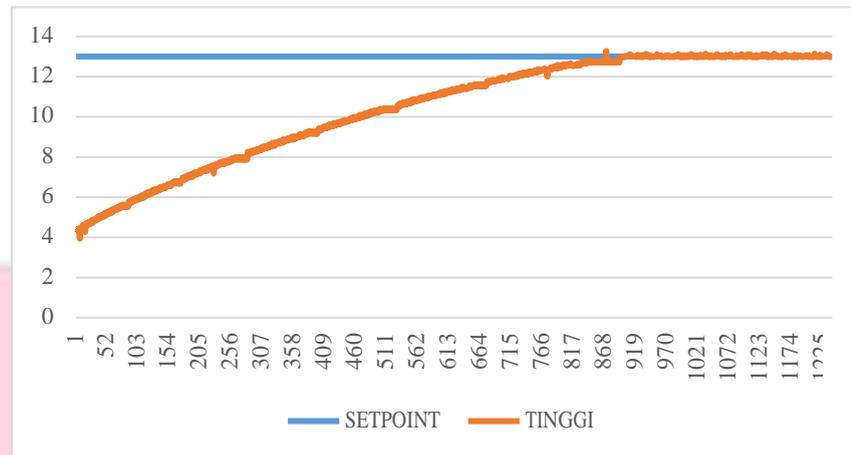
- Pengujian dengan PID Adaptif



Gambar 9 Hasil pengujian PID Adaptif dengan *setpoint* 10cm



Gambar 10 Hasil pengujian PID Adaptif dengan *setpoint* 11cm



Gambar 11 Hasil pengujian PID Adaptif dengan *setpoint* 13cm

Dapat dilihat dari pengujian yang dilakukan dengan PID adaptif bahwa dengan menggunakan empat jenis PID pada setiap daerah kerja mampu menghasilkan respon keluaran yang cenderung lebih baik daripada menggunakan PID tunggal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian pada tugas akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya :

- 1) Sistem kontrol ketinggian level air merupakan sebuah sistem yang memiliki karakteristik tidak linier karena tingkat laju keluarnya air tergantung pada tekanan air yang berada didalam penampung.
- 2) Dengan menggunakan kendali PID tunggal mampu mengontrol ketinggian level air, namun hanya pada *setpoint* tertentu.
- 3) Dengan menggunakan kendali PID Adaptif yang diimplementasikan pada sistem dapat berjalan cukup sesuai dengan tujuan pembuatan tugas akhir ini.
- 4) Dengan menggunakan kendali PID Adaptif, sistem memiliki *rise time* ± 46.6 detik, *settling time* ± 54 detik dan *overshoot* ± 0.0925 cm.
- 5) Pengujian sensor ultrasonic memiliki nilai kesalahan sebesar 1,13%.

Daftar Pustaka

- [1]. Juwana, M. Unggul dan Putra, Agfiranto Eko. 2006. Sistem Kontrol Proses dan PLC
- [2]. Anis M, M. Ibnu Sahil dan Yusby M.B. P. 2014. Kontrol Kecepatan Motor Pompa Air dengan Saklar Toggle. Semarang : Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang
- [3]. Oka D. Saputra. 2011. Perancangan *Heater* sebagai Pemanas Ruangan Menggunakan Sensor Jarak Ping Parallax dan Sensor Suhu LM 35. Laporan Tugas. Semarang : Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
- [4]. Hardy Purnama Nurba. 2015. Desain dan Implementasi Kendali PID Adaptif pada kecepatan Motor DC. Tugas Akhir. Bandung : Jurusan Teknik Elektro, Universitas Telkom
- [5]. Astrom,J.K. dan Wittenmark,Bjorn. 1989. *Adaptive Control*. Canada : Addison Wesley Publishing Company
- [6]. Nise, Norman S. 2010. Control Systems Engineering, International Student Version, 6th Edition, John Wiley & Sons, Inc
- [7]. DiStefano, Joseph., Stubberud, Allen., Williams, Ivan. 2011. Schaum's Outline of Feedback and Control Systems, 2nd Edition, McGraw-Hill
- [8]. Astrom K.J. and Haggland, T. Advanced PID Control. *Instrument Society of America*
- [9]. Teknik Fisika ITS. Modul Ajar Model Matematis Sistem Dinamika
- [10]. Setiawan, Iwan. 2008. Kontrol PID untuk Proses Industri. *Elex Media Komputindo*
- [11]. Ibrahim Dogan. Microcontroller Based Applied Digital Control. *Department of Computer Engineering Near East University, Cyprus*. John Wiley & Sons,Ltd
- [12]. Pramod, Gondaliya and Patel, Manisha. C . 2015. Modeling and system identification of liquid level system. International Journal of Science. Engineering and Technology Research(IJSETR)