

PERANCANGAN SISTEM PEMANAS AIR MENGGUNAKAN SISTEM KENDALI PID

I.W. Parmadi Putra¹, I. W. Arta Wijaya², I.N. Budiastira³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali
email: wayanparmadi2@gmail.com¹, artawijaya@unud.ac.id², budiastira@unud.ac.id³

Abstrak

Seiring dengan perkembangan teknologi, khususnya dalam bidang kendali, dibutuhkan suatu sistem pengendalian suhu air yang dapat menghadirkan nilai suhu air yang stabil. Hal itu disebabkan karena dalam beberapa kasus dibutuhkan suhu air yang sangat presisi. Saat ini, banyak sistem kontrol yang masih menggunakan kendali ON/OFF karena sistem tersebut relatif lebih sederhana dan terjangkau, namun sayangnya kendali tersebut masih menghasilkan data yang belum presisi dan terdapat *error*. Untuk memperoleh suhu air dengan presisi yang lebih baik, pengendalian suhu air dalam penelitian ini dirancang menggunakan sistem PID. Sebagai sistem akuisisi data, penelitian ini menggunakan Arduino UNO sementara deteksi suhu yang masuk ke pengkondisian sinyal menggunakan sensor tipe LM35. Setelah masuk ke pengkondisian sinyal, selanjutnya *driver* heater akan dikendalikan sehingga meningkatkan presisi dalam pengendalian suhu. Sistem PID ini memanfaatkan sensor suhu yang tahan terhadap air. Pada *heater* diberikan perlakuan yaitu diberikan pengontrolan PID. Suhu air panas PID berada kisaran suhu 69°C sampai 70,5°C. Dalam penelitian ini, juga dilakukan pengujian lain berupa perbandingan antara nilai suhu yang terdeteksi oleh sensor pada penelitian ini dengan sebuah termometer digital lain. Baik sensor maupun termometer tersebut ditempatkan dalam satu wadah yang sama. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai suhu yang terdeteksi pada sensor alat ini memiliki selisih 1,30 derajat Celcius dibandingkan dengan termometer digital.

Kata Kunci: *Proportional Integral Derivative, Arduino, LM35, Suhu*

Abstract

As the technology advances in control system grow rapidly, especially those involved with water temperature, there is an increased demand for a control system that is able to provide precisely stable temperature value. The commonly used systems nowadays are still using the ON/OFF control system for it is relatively affordable and simple, but unfortunately numerous errors are still found and it is not yet able to provide precise data. Therefore, a PID control system was developed to address this issue. In this study, Arduino UNO temperature control was used as data acquisition system, and LM35 temperature sensor was used to detect the temperature recognized by signal conditioning. From the signal conditioning, the driver will then control the heater in order to obtain a precise temperature. This PID system utilized a water-resistant temperature sensor. In this study, the heater was treated by means of controlling the PID temperature which ranged from 69°C to 70.5°C. Another test was done by comparing the temperature value detected by the device's temperature sensor with an external digital thermometer which was placed in the same container. The temperature value detected by the device's temperature sensor had a difference of $\pm 1,30^{\circ}\text{C}$ compared to the digital thermometer.

Keywords: *Proportional Integral Derivative, Arduino, LM35, Temperature*

I. PENDAHULUAN

Dunia industri pada saat ini mengalami perkembangan yang sangat pesat. Seiring berjalannya waktu pengendalian merupakan bagian penting dalam proses kerja sebagian industri. Dalam dunia industri banyak melibatkan berbagai macam proses pengendalian, seperti pengendalian gerak [1], pengendalian posisi [2], dan pengendalian suhu. Dalam pengendalian suhu Salah satu kasus yang terjadi adalah pada PT. Tirta Investama yang merupakan sebuah perusahaan yang bergerak dibidang air minum dalam kemasan yang sangat membutuhkan sebuah sistem pengendalian suhu air dapat memberikan tingkat kestabilan suhu yang tinggi untuk

mennunjang proses produksinya agar sistem keseluruhan dapat berlangsung dengan aman dan efisien. Sebelumnya digunakan sebuah sistem kontrol suhu menggunakan sistem ON/OFF karena lebih sederhana dan mudah. Kelemahan pada sistem ini konsumsi energi listrik yang boros dan suhu air tidak

¹Mahasiswa, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (tel: 0361-703315; fax: 0361-4321; e-mail: wayanparmadi2@gmail.com)

^{2,3}Dosen, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (tel: 0361-703315; fax: 0361-4321; e-mail: artawijaya@unud.ac.id², budiastira@unud.ac.id³)

presisi dan stabil, maka dirancanglah sebuah sistem pemanas air untuk mengontrol suhu air agar tetap stabil terhadap *set point* dengan menggunakan sistem pengendalian PID.

Pengendalian suhu tersebut dilakukan salah satunya dengan sistem kendali PID. Cara kerja sistem ini adalah dengan menentukan *set point* suhu yang diinginkan, kemudian suhu tersebut dijaga agar tetap stabil dengan nilai *error* yang kecil. Luaran dari PID akan dijumlahkan dengan menggunakan modulasi lebar pulsa PWM. Caranya adalah dengan menghitung berapa banyak sinyal luaran yang bernilai tinggi dan yang bernilai rendah, kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Luaran PWM tersebut nantinya akan dimanfaatkan untuk mengontrol suplai tegangan AC pada pemanas. Pada waktu yang dirasa tepat, aliran tegangan AC akan terputus otomatis sehingga suhu air akan tetap stabil dengan nilai *error* yang minimal pada nilai *set point* yang telah ditentukan.

Penelitian ini menggunakan sistem kendali suhu air berbasis Arduino. Sistem ini dirancang agar saat suhu air tetap stabil pada nilai yang diinginkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa konstanta yang diperlukan PID untuk mencapai kestabilan suhu di *set point* 70°C.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Proportional Integral Derivative (PID)

Proportional Integral Derivative (PID) Controller merupakan suatu pengendali yang berfungsi untuk menentukan tingkat presisi suatu system. Ciriya adalah adanya umpan balik (*feed back*) pada sistem tersebut. PID terdiri dari tiga komponen yaitu proporsional (P), integral (I), dan derivatif (D). Tiap komponen tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing dan dapat bekerja baik tersendiri maupun gabungan. Dalam perancangannya, ketiga komponen yang telah disebutkan di atas diatur sedemikian rupa sehingga sistem dapat memberikan tanggapan yang diinginkan sesuai dengan masukan yang diterima [3].

B. Heater

Agar dapat mengubah energi listrik menjadi kalor, suatu pemanas air listrik memiliki sebuah elemen pemanas yang terbuat dari bahan *stainless steel*. Belitan kawat yang ada di dalamnya akan menghasilkan panas secara terus menerus apabila diberi tegangan dengan jumlah tertentu. Dalam penelitian ini, elemen pemanas yang digunakan adalah jenis *mini heater* yang dikendalikan oleh rangkaian penstabil suhu dengan sumber tegangan AC sebesar 220 Volt [4].

C. Arduino UNO

Arduino adalah sebuah *board micro controller* berbasis ATmega328. Arduino memiliki kelebihan tersendiri dibanding *board micro controller* lainnya karena bersifat *open source* dan juga memiliki bahasa pemrogramannya sendiri (bahasa C). Selain itu, saat kebanyakan *board micro controller* lainnya masih membutuhkan rangkaian loader terpisah, Arduino Uno

sudah dilengkapi dengan *loader* bertipe USB yang juga berfungsi sebagai *port komunikasi serial* [4].



Gambar 2.1. Arduino Uno

D. LM35

Untuk mengubah besaran suhu menjadi besaran listrik (dalam bentuk tegangan), maka diperlukan suatu komponen yang disebut sensor suhu. Dalam penelitian ini, jenis sensor yang dipilih adalah tipe LM35 sebab memiliki nilai akurasi yang lebih tinggi serta lebih mudah digunakan jika dibandingkan dengan sensor suhu lainnya. LM35 juga memiliki luaran impedansi yang rendah dan linieritas yang tinggi, sehingga mempermudah perangkaian dengan kendali khusus serta tidak memerlukan penyetelan lanjutan [5].



Gambar 2.2. Sensor suhu *waterproof* LM35

E. Pulse Width Modulation (PWM)

Untuk mengontrol input daya ke dalam perangkat listrik, kini umumnya digunakan teknik PWM sebab penggunaan *switch* daya elektronik yang dimilikinya dinilai lebih praktis. PWM digunakan untuk menghasilkan sinyal analog dari suatu perangkat digital. Dalam pengaturan *heater*, PWM digunakan dengan cara mengatur persentase lebar pulsa terhadap periode dari suatu sinyal berbentuk segiempat dalam bentuk tegangan periodik yang diberikan ke *driver heater*. Dengan kata lain, PWM mempermudah proses pemanasan sesuai dengan keinginan kita. Semakin besar perbandingan lama sinyal *high* dengan periode sinyal, maka semakin besar pula daya pemanas yang diberikan pada *heater* [6].

F. Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid crystal display merupakan salah satu jenis media penampil dengan kristal cair sebagai media penampil utamanya. LCD kini umum ditemukan pada bermacam-macam alat elektronik seperti televisi, kalkulator, serta layar komputer [7].



Gambar 2.3. LCD 2x16

G. Relay

Relay merupakan suatu saklar (*switch*) yang dioperasikan secara elektronik. Komponen elektromekanikal yang menyusun *relay* terdiri atas dua bagian, yaitu suatu kumparan yang berfungsi sebagai komponen elektromagnet dan seperangkat kontak saklar sebagai komponen mekaniknya. Seperangkat kontak saklar tersebut digerakkan menggunakan prinsip elektromagnetik sedemikian sehingga listrik bertegangan tinggi dapat dihantarkan meskipun dengan arus listrik masukan yang lebih kecil [4].



Gambar 2.4. Relay

H. Resistor

Dalam sebuah rangkaian listrik, resistor diperlukan untuk mengatur arus dan tegangan yang bekerja dalam rangkaian tersebut. Resistor juga dapat berperan sebagai beban untuk mensimulasi keberadaan suatu rangkaian selama pengujian. Untuk mengindikasikan nilai tahanan yang dimilikinya, tiap resistor memiliki tiga buah cincin warna saling berdekatan di salah satu ujung badan resistor tersebut. Warna setiap cincin merepresentasikan suatu bilangan yang menunjukkan nilai tahanan yang dimiliki resistor tersebut [4].



Gambar 2.5. Resistor

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat Penelitian

Penelitian ini bertempat di PT. Tirta Investama Sembung Gede, Tabanan, Bali.

B. Objek Penelitian

Objek yang dianalisis merupakan hasil uji pemanas air menggunakan sistem kendali berbasis PID selama periode

bulan Juni-September 2019 di PT. Tirta Investama Sembung Gede, Tabanan, Bali.

C. Sumber dan Jenis Data Penelitian

Sumber data yang digunakan dalam penyusunan usulan skripsi ini berupa alat menguji prosedur alat dengan *flowchart* dan mengukur berapa parameter alat untuk mendapatkan nilai yang akan di analisa.

Penelitian ini menggunakan baik data primer maupun sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh dari pengujian alat, sementara data sekunder merupakan data yang diperoleh dari data *sheet* pada komponen-komponen yang digunakan dalam jurnal dan buku yang berkaitan dengan penelitian ini.

D. Pengambilan Data

Data primer yang didapatkan merupakan data yang diperoleh dari pengujian alat yang bertempat di PT. Tirta Investama Sembung Gede, Tabanan, Bali.

Data sekunder yang didapatkan merupakan data yang diperoleh dari studi literatur terhadap data *sheet* pada komponen-komponen yang digunakan dalam jurnal dan buku yang berkaitan dengan penelitian ini.

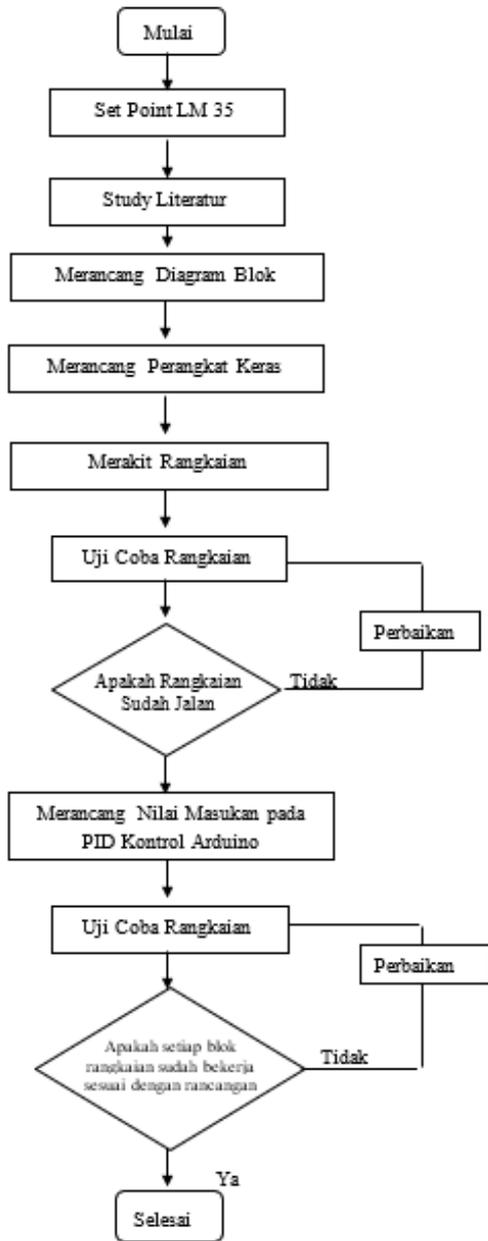
E. Metode Analisis Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *trial and error* yang disebut juga metode coba-coba. Ini merupakan metode yang umum digunakan untuk sistem control, salah satunya PID. Luaran yang diharapkan dari metode ini adalah *rise time* dan *settling time* yang cepat serta overshoot sekecil mungkin.

Sistem pengendali suhu dalam penelitian ini dapat mengendalikan suhu air yaitu mengatur *set point* maksimum 70°C dan *set point* minimum 69°C . Pengendalian suhu air ini dilakukan dengan cara mengendalikan nilai *error* yang ada. Data tersebut akan diolah untuk mendapatkan dasar dari sebuah masukan K_p , K_i dan K_d . Jika nilai *error* $< 1^{\circ}\text{C}$ dimana set suhu maksimal yang ditentukan sebesar 70°C dan *set point* minimum yang ditentukan sebesar 69°C . Jika nilai *output* dari PID tersebut adalah $> 69^{\circ}\text{C}$ dan $< 70^{\circ}\text{C}$, maka program PID tersebut sudah berjalan dengan benar. Pada penelitian ini metode PID yang digunakan adalah metode *trial and error*. Untuk mencari nilai konstanta K_p , K_i , dan K_d dapat dicari dengan mencoba memasukkan nilai konstanta PID sampai sistem beresilasi dengan baik. Percobaan dilakukan menggunakan kontrol proporsional, kontrol integral, dan kontrol derivatif dinaikkan mulai dari 0 sampai nilai sistem yang dihasilkan beresilasi terus-menerus.

F. Diagram Alur Penelitian

Diagram alur yang menggambarkan proses pembuatan rancangan sistem pemanas air menggunakan sistem kendali PID, *set point* suhu air, studi literatur perancangan perangkat keras, serta proses pengujian ditampilkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alur Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Rangkaian Catu Daya

Dalam pengujian ini, dilakukan pengujian terhadap stabilitas tegangan untuk mengetahui jika keluaran yang dihasilkan rangkaian catu daya sesuai dengan perencanaan. Rangkaian catu daya menggunakan sebuah komponen penstabil tegangan IC 78M05 untuk menghasilkan tegangan keluaran sebesar 5VDC. Tegangan keluaran 5 VDC digunakan untuk mensuplai Arduino Uno. Data hasil

pengujian pada IC 78M05 dengan beban Arduino Uno menggunakan alat AVOMeter ditampilkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian pada IC 78M05 dengan Beban Arduino Uno

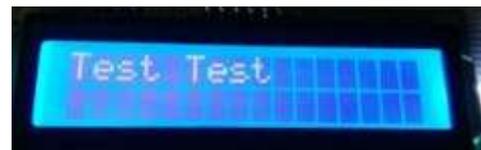
No.	Daerah Ukur	Tegangan Keluaran (VDC)	Arus Keluaran (mA)
1.	IC 78M05	5.02	350

Berdasarkan Tabel 4.1, pengujian pada catu daya dengan beban Arduino Uno diperoleh sebesar 5,02 VDC dengan arus keluaran 350 mA yang dapat digunakan untuk mensuplai tegangan kepada Arduino Uno.

B. Pengujian Rangkaian LCD

Pengujian rangkaian LCD ini dilakukan untuk mengetahui apakah LCD sudah bekerja serta dapat membaca data yang dikirimkan Arduino Uno.

Hasil pengujian LCD menunjukkan hasil kinerja dan tampilan dari rangkaian LCD sesuai dengan program yang sudah dibuat. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Hasil Pengujian LCD

C. Pengujian Sensor LM35

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pembacaan yang dilakukan oleh sensor LM35, yaitu apakah sensor ini dapat membaca suhu dalam air dengan baik saat terjadinya pemanasan pada air.

Pada pengujian sensor suhu LM35, yang diharapkan adalah sensor dapat melakukan pembacaan suhu dan menampilkannya pada LCD dalam satuan Celcius. Hasil pengujian sensor LM35 yang ditampilkan pada LCD dapat dilihat pada Gambar 4.2, sementara selisih pengujian suhu LM35 dengan termometer digital ditampilkan dalam Tabel 4.2.



Gambar 4.2. Program untuk Menguji Rangkaian LM35

Tabel 4.2. Selisih Pengujian Suhu LM35 dengan Termometer Digital

No	LM 35	Termometer digital (°C)	Selisih (°C)
1	54.6	56	1,4
2	54.6	56,3	1,7

3	55,2	56,8	1,6
---	------	------	-----

D. Pengujian Rangkaian Relay

Relay adalah alat yang bekerja menggunakan prinsip elektromagnet untuk menggerakkan sejumlah saklar dalam rangkaian listrik. Kontaktor akan tertutup (menyala) atau terbuka (mati) karena efek induksi magnet yang dihasilkan kumparan ketika dialiri arus listrik. Hasil pengujian relay ditampilkan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Relay

Tegangan Input Arduino (volt)	Tegangan Input (volt)	Respon Relay
0	0	Off
4	4	On

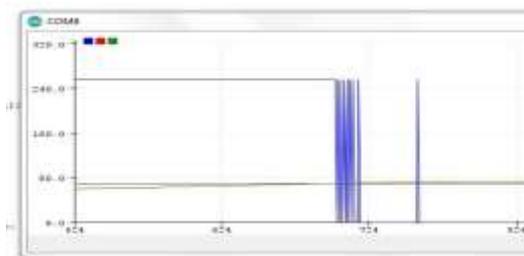
E. Pengujian Rangkaian Keseluruhan

Pengujian dilakukan dengan menggunakan 2000 ml air yang dimasukan ke dalam bak heater. Pengambilan data dilakukan selama 20 menit untuk mendapatkan grafik respon pengukuran suhu air yang stabil pada set point yang sudah ditentukan. Pada proses ini, akan diukur seberapa cepat respon rangkaian menstabilkan suhu pada set point yang sudah ditentukan tersebut.

F. Pengujian Sistem PID

Pengujian dengan menggunakan sistem PID ini dilakukan dengan memberikan nilai-nilai PID secara trial and error ke dalam sistem sehingga dapat menghasilkan respon sistem yang kiranya terbaik berdasarkan kestabilan sistem tersebut. Dalam penelitian ini, pengujian sistem kontrol PID dibagi menjadi pengujian menggunakan Arduino UNO dan Matlab Simulink dengan set point 70°C. Pengujian dengan Matlab sendiri dilakukan dalam tiga tahap, yaitu program P, program PD, dan program PID.

1) *Pengujian Sistem Kontrol PID Menggunakan Arduino Uno*: Hasil pengujian ditampilkan dalam Gambar 4.3. Dari gambar tersebut terlihat nilai suhu aktual (grafik warna hijau) mulai bergerak mencari titik set point 70°C (grafik warna merah). Ketika set point sudah tercapai, maka relay akan mulai menstabilkan suhu air dengan perintah dari PWM.



Gambar 4.3. Respon PID pada Arduino

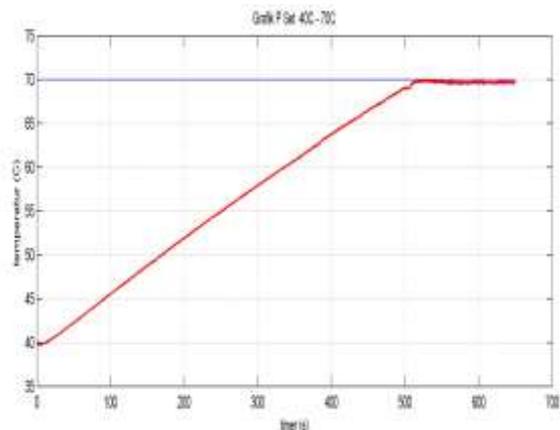
2) *Pengujian Sistem Kontrol PID Menggunakan Matlab Simulink Program Proportional dengan set point 70°C*: Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.4. Dari data hasil

percobaan sistem PID tersebut, maka didapatkan hasil nilai aktual suhu air rata-rata sebesar 69,8°C. Dari data hasil pengujian tersebut, nilai suhu yang terbaca oleh sensor sedikit lebih rendah dari set point 70°C. Dengan demikian nilai error yang didapatkan adalah sebesar 7%.

Nilai Kp=300 dengan set point 70°C ditampilkan dalam Gambar 4.4. Dari gambar tersebut, nilai Kp=300 dengan set point 70°C dapat menghasilkan nilai overshoot yang relatif kecil. Maka, nilai Kp=300 dapat memberikan respon sistem menjadi lebih stabil dan dapat mempercepat nilai aktual sehingga set point dapat tercapai dengan waktu yang singkat.

Tabel 4.4. Data Program P Set Point 70°C

t1(s)	sp(°C)	act (°C)	Error (°C)
300	70	58,0078	11,9922
310	70	58,4961	11,5039
360	70	61,4258	8,57422
420	70	64,8438	5,15625
530	70	69,8542	0,17578
540	70	69,8242	0,17578
550	70	69,7266	0,27344
560	70	69,6279	0,37109
590	70	69,6289	0,37109
600	70	69,8242	0,17578



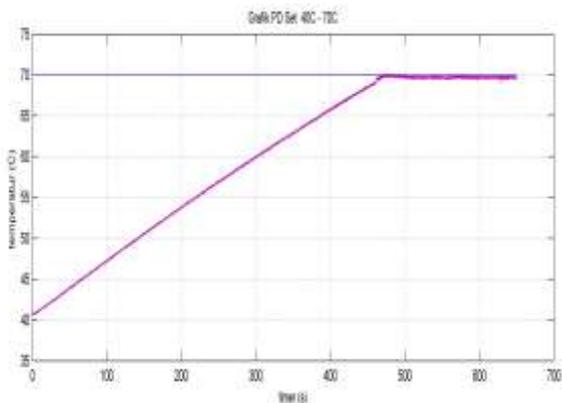
Gambar 4.4. Grafik 70°C P

3) *Pengujian Sistem Kontrol PID Menggunakan Matlab Simulink Program Proportional Derivative dengan set point 70°C*: Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.5. Dari data tersebut, didapatkan hasil nilai aktual suhu air rata-rata sebesar 69,7°C. Dari data hasil pengujian tersebut, nilai suhu yang terbaca oleh sensor sedikit lebih rendah dari set point 70°C. Dengan demikian nilai error yang didapatkan adalah sebesar 0,30.

Nilai $K_d=0,005$ dengan *set point* 70°C ditampilkan dalam Gambar 4.5. Dari gambar tersebut, nilai $K_d=0,005$ dengan *set point* 70°C dapat menghasilkan nilai *overshoot* yang relatif kecil. Maka, kontrol Pd dapat memberikan respon sistem menjadi lebih stabil dan dapat mempercepat nilai aktual sehingga *set point* dapat tercapai dengan waktu yang singkat.

Tabel 4.5. Data Program PD *Set Point* 70°C

t1(s)	sp($^{\circ}\text{C}$)	act ($^{\circ}\text{C}$)	Error ($^{\circ}\text{C}$)
560	70	69,7266	0,273438
570	70	69,7266	0,273438
580	70	69,6289	0,371094
590	70	69,6289	0,371094
600	70	69,8242	0,175781
610	70	69,5313	0,46875
620	70	69,6289	0,371094
630	70	69,7266	0,273438
640	70	69,7266	0,273438
650	70	69,7266	0,273438



Gambar 4.5. Grafik 70°C PD

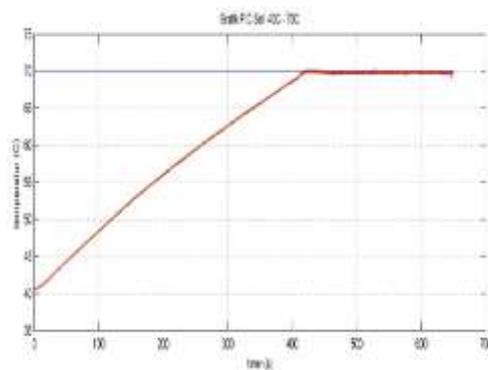
4) *Pengujian Sistem Kontrol PID Menggunakan Matlab Simulink Program Proportional Integral Derivative dengan set point 70°C* : Data Program P, I, dan D *set point* 70°C menggunakan Matlab Simulink ditampilkan pada Tabel 4.6. Dari data tersebut, didapatkan hasil nilai aktual suhu air rata-rata sebesar $69,9^{\circ}\text{C}$.

Tabel 4.6. Data Program PID *Set Point* 70°C

t1(s)	sp($^{\circ}\text{C}$)	act ($^{\circ}\text{C}$)	Error ($^{\circ}\text{C}$)
200	70	56,0547	13,9453
210	70	56,6406	13,3594
220	70	57,4219	12,5781
230	70	58,1055	11,8945

240	70	58,7891	11,2109
250	70	59,4727	10,5273
260	70	60,0586	9,94141
280	70	61,3281	8,67188
290	70	62,0117	7,98828
300	70	62,5977	7,40234

Grafik SP 70°C PID ditampilkan dalam Gambar 4.6. Dengan kombinasi kontrol K_p , K_i dan K_d terlihat pada grafik bahwa kriteria sistem hampir sesuai dengan yang diinginkan, terlihat pada grafik hasil respon tidak memiliki *overshoot*, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *set point* sangat cepat dan nilai *error* hampir mendekati nol. Grafik respon keseluruhan *set point* 70°C ditampilkan dalam Gambar 4.7.



Gambar 4.6. Grafik 70°C PID

V. KESIMPULAN

Simpulan yang diambil berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan dari data pengujian diperoleh sistem respon metode *trial* dan *error*. Maka konstanta PID dapat ditentukan sebesar $K_p=600$, $K_i=0,007$, dan $K_d=0,6$.
2. Pengendalian dengan sistem PID dapat menghasilkan respon sesuai yang diharapkan dan dapat diaplikasikan pada sistem pengendalian suhu air dengan nilai *error* yang kecil.
3. Volume air pada *plant* sangat berpengaruh terhadap waktu proses pemanasan.

REFERENSI

- [1] Sutawati, Luh ayu; Kumara, I.N.S; Widiadha, W. " Pengembangan Three Degree Of Freedom Hexapod Sebagai Robot Pemadam Api Dengan Sensor UVTron Hamamatsu". Majalah Ilmiah Teknologi Elektro [S.1.],V.17,N. 3, P. 417-426, Dec. 2018. ISSN 2503-2372.
- [2] I. P. G. Riawan, I.N.S Kumara, C.G.I Partha, I. N. Setiawan and D. A. S. Santiar, " Robot for cleaning solar PV module to support rooftop PV development". 2018 International Conference On Smart Green Technology In Electrical And Information System (ICSGTEIS), Bali, Indonesia, 2018, pp. 132-137]

- [3] O. Janrisky, A. Panggabean, A. R. Firdaus. "Sistem Pengaturan Suhu Air Menggunakan Kendali PID". Jurnal Integrasi. Batam. Juli. 2010.
- [4] S. N. Sitompul. "Perancangan Pengendalian Suhu Air dengan Sensor DS18S20 Berbasis Arduino Uno". Repositori Institusi Universitas Sumatera Utara. Medan. 2018.
- [5] P. Agastansa. "Kendali Temperatur Menggunakan PID Untuk Sistem Pasteurisasi Susu". Sekolah Tinggi Ilmu Komunikasi. Surabaya. 2018.
- [6] E. Ariyanto. "Sistem Kontrol Suhu Air Menggunakan Kendali PID dan Volume Air pada Tangki Pemanas Udara Berbasis Arduino Uno" Universitas Diponegoro. Semarang. 2016.
- [7] A. Bastomi. "Modul Kontrol Temperatur Air Berbasis PID Menggunakan Matlab Simulink". Politeknik Negeri Semarang. Semarang. 2013.