

PERANCANGAN KONTROLER PID UNTUK PENGATURAN SUHU CAIRAN PADA DISPENSER KOPI INSTAN OTOMATIS

Aldi Nur Fadilah^{*)}, Aris Triwiyatno, Budi Setiyono

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)E-mail: aldialdinf@gmail.com}

Abstrak

Industri kopi semakin berkembang, maka semakin banyak teknologi yang dipakai. Pada awalnya biji kopi hanya ditumbuk lalu diseduh menggunakan air panas, namun sekarang kopi sudah dapat di proses dengan mesin dari yang manual sampai full automatic. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem kontrol suhu pada mesin kopi automatic untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal. Penelitian ini merancang sebuah sistem kontrol suhu pada automatic coffee instant dispenser menggunakan kontrol PID yang dapat menghasilkan respon sistem untuk memenuhi kriteria performansi yang diinginkan. Sistem ini menggunakan dua buah heater masing-masing untuk kopi dan creamer. Proses pengontrolan heater menggunakan modul dimmer. Alat ini dapat memproses otomatisasi level menggunakan ball valve. Pengujian sistem pemanas menggunakan kontrol P, PD, dan PID. Setelah dilakukan pengujian, respon sistem yang menghasilkan nilai waktu stabil terkecil adalah sistem yang menggunakan kontrol PD dengan nilai K_p adalah 5 sedangkan nilai K_d adalah 500. Sistem ini dapat memanaskan kopi dan creamer pada suhu standby 50 °C dan suhu akhir 80 °C. Waktu stabil pada respon sistem adalah 1763 detik pada suhu standby dan 273 detik pada suhu akhir. Error pada respon sistem adalah 3 °C pada suhu standby dan 2 °C pada suhu akhir.

Kata kunci: Mesin Kopi, Pemanasan, Kontrol PID

Abstract

Since the coffee industry is growing up, there are a lot of technologies used. In the beginning of the process, coffee was made by being pounded then brewed by the boiled water, but now coffee is processed by using manual machine or even full automatic machine. The aim of the study is to design a dispenser temperature control system uses PID control that can generate a system response to meet the desired performance. The process of controlling the heater module is using dimmers that control AC voltage which serves on each heater. The dispenser can process automation level using a ball valve. After testing, the system of the response that generates the smallest time stabled is system using a PD control which scores 5 for the K_p and 500 for the K_d . The system can heat up the coffee and creamer at standby temperature 50 °C and the final temperature is 80 °C. The stable time of the response system is 1763 seconds with standby temperature and 273 seconds for the final temperature. The error found in the response system is 3 °C with standby temperature and 2 °C in final temperature.

Keywords: Coffee Machine, Heating, PID Control

1. Pendahuluan

Kopi merupakan jenis tanaman yang bijinya dapat diolah menjadi minuman dengan cara dipanggang atau dibakar terlebih dahulu. Minuman ini dapat disajikan dalam kondisi dingin maupun panas [1]. Semula biji kopi hanya ditumbuk lalu diseduh, namun sekarang sudah terdapat berbagai mesin kopi untuk memudahkan konsumen menikmatinya. Terdapat beberapa jenis mesin kopi yang ada, seperti mesin *automatic*, ada juga yang menyebut mesin ini dengan istilah mesin *pod coffee*. Lalu mesin *espresso semi-automatic* yang bisa memungkinkan

penggunanya untuk menakar kopi yang mereka buat, dalam takaran yang tepat. Ada juga mesin *manual*, menawarkan kendali penuh kepada penggunanya dalam membuat kopi. Selanjutnya, mesin komersial atau *professional*, mesin ini ditujukan untuk penggunaan yang lebih kompleks dan ditujukan pemakaian yang lebih *technical* [2]. Lalu yang banyak digunakan sekarang ini adalah mesin kopi *instant*, mesin ini dirancang dengan ukuran mini untuk membuat kopi instan secara otomatis, mudah dan cepat [3]. Mesin ini dapat menghasilkan beberapa macam jenis menu kopi yang berbeda, sesuai yang diinginkan. Penelitian sebelumnya mengenai pengontrolan suhu menggunakan kontrol PID telah

dilakukan, salah satunya oleh D.Pamela dan T.Jebarajan. Mereka merancang desain kontrol pada *temperature process* menggunakan metode PI dan Fuzzy [4]. Pengendalian sistem kontrol suhu juga telah didesain oleh Soniya Kocher dan DR. A.K. Kori menggunakan desain kontrol PID pada plant sistem *heat exchanger* [5]. Mesin kopi automatic yang biasa dijumpai di minimarket masih menggunakan sistem kontrol konvensional sehingga masih memakan banyak waktu dalam prosesnya. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem kontrol suhu pada mesin kopi automatic untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal. Sistem kontrol suhu digunakan pada *automatic coffee instant dispenser* untuk mengoptimalkan waktu dalam proses pemanasan. Perancangan sistem kontrol ini dilakukan dengan menggunakan metode Kontrol PID.

2. Metode

2.1. Perancangan Perangkat Keras

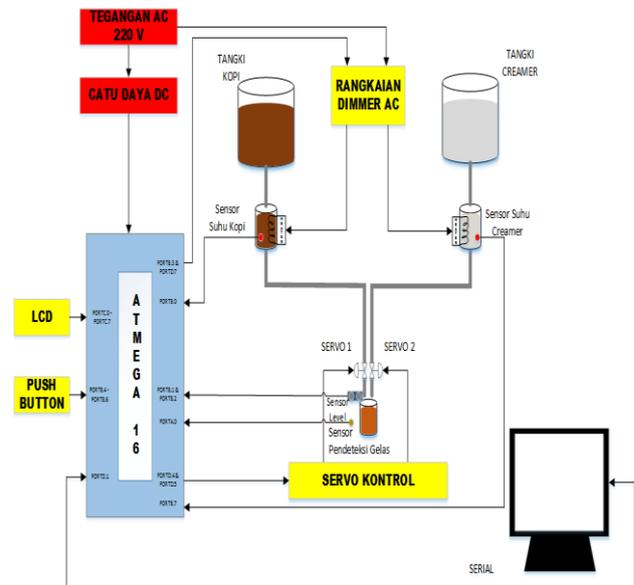
Perancangan perangkat keras sistem pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 1. Penjelasan dari masing-masing blok *automatic coffee instant dispenser* pada Gambar 1 adalah sebagai berikut :

1. Mikrokontroler Atmega16 yang berfungsi sebagai pusat pengendalian pada sistem pengaturan suhu cairan ini dapat diprogram dengan menggunakan bahasa C embedded. Atmega16 mempunyai port I/O yang Setiap pin-nya dapat menyediakan *internal pull-up resistor*. *Output buffer port A* dapat memberi arus 20 mA dan dapat mengendalikan display LED secara langsung [6].
2. Push Button berfungsi sebagai masukan untuk mengatur set point level dari kedua jenis cairan dan sebagai tombol untuk menjalankan proses pengendalian.
3. LCD (Lyquid Crystal Display) digunakan sebagai media tampilan (display) selama proses pengendalian berlangsung
4. Sensor suhu DS18B20 merupakan sensor yang akan mendeteksi suhu pada storage. Keluaran sensor ini berupa tegangan digital [7].
5. Sensor jarak HC-SR04 difungsikan sebagai sensor level yang digunakan untuk mendeteksi ketinggian cairan pada gelas. Sensor ini memiliki spesifikasi jangkauan 2 cm – 500 cm dengan resolusi 0.3 cm, serta jangkauan sudut kurang dari 15 derajat [8].
6. Motor servo sebagai aktuator yang digunakan untuk membuka dan menutup ball valve.
7. Heater (Pemanas cairan) dengan daya 300 watt dengan sumber tegangan ac (bolak-balik) yang berfungsi sebagai aktuator.
8. Rangkaian pengendali tegangan AC merupakan rangkaian yang berfungsi untuk mengendalikan tegangan beban dengan memberi waktu tunda pemucuan triac. Komponen utama pengatur tegangan AC berupa triac dan optoisolator MOC3041 dimana didalamnya terdapat rangkaian zero crossing detector

untuk mendeteksi gelombang sinus tegangan jala-jala AC 220 V ketika melalui persimpangan titik nol.

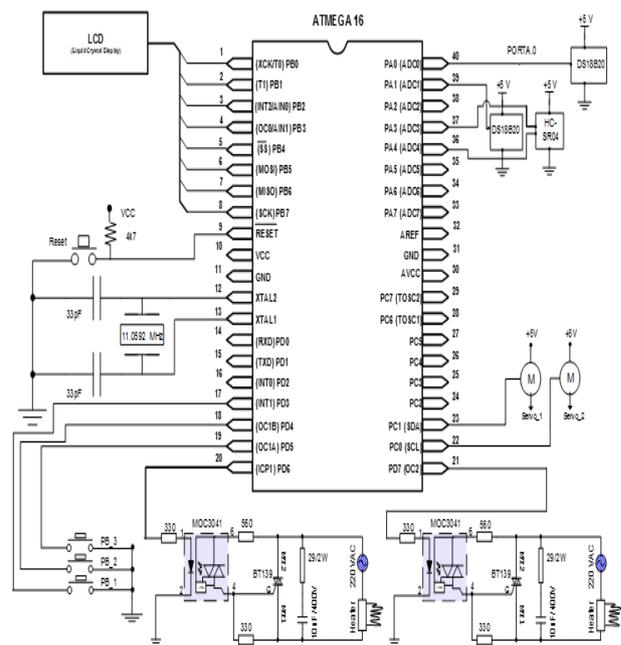
9. Catu daya berfungsi sebagai suplai sistem secara keseluruhan.

10. PC (Personal Computer).



Gambar 1. Blok Diagram Perancangan Sistem *Automatic Coffe Instant Dispenser*

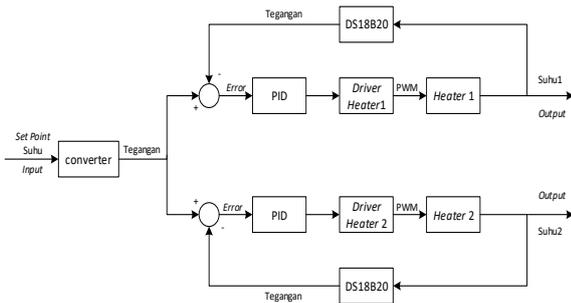
Adapaun alokasi penggunaan *port* pada rangkaian ATmega16 dapat dilihat pada Gambar 2. di bawah ini:



Gambar 2. Skematik perancangan perangkat keras

2.2. Perancangan Pengendali PID

Dalam tugas akhir perancangan sistem kontrol keseimbangan pada automatic coffee instant dispenser ini menggunakan controller PID dengan tuning trial and error. Nilai inilah yang nantinya akan menjadi parameter penentuan konstanta pada kontroler PID. Diagram blok pengendali PID dapat dilihat seperti Gambar 3. dibawah ini.



Gambar 3. Diagram blok sistem kendali PID

2.3. Perancangan Perangkat Lunak

Pemrograman mikrokontroler Atmega16 dapat dilakukan dengan bahasa C. Perancangan *software* pada tugas akhir ini juga menggunakan bahasa C dengan kompilier Code Vision AVR.

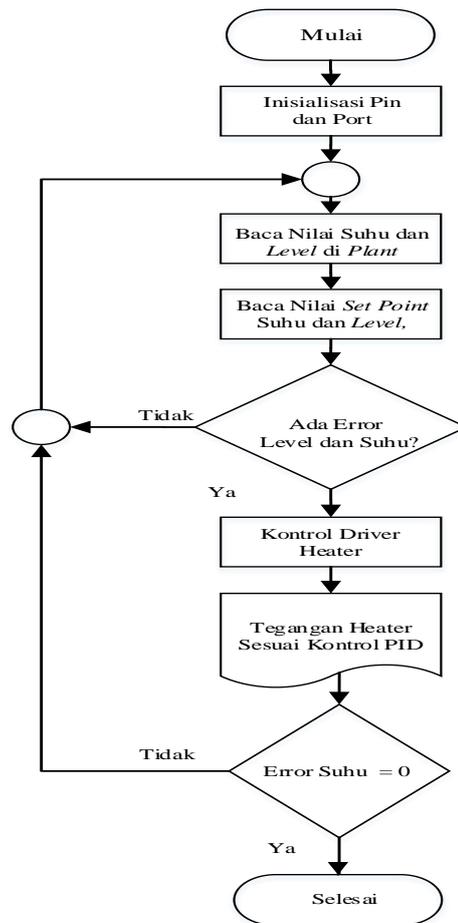
2.3.1. Perancangan Program Secara Umum

Secara umum pada perancangan perangkat lunak pada mikrokontroler Atmega16 ini terdiri atas :

1. Perancangan Program Utama.
2. Program Inisialisasi I/O dan Variabel.
3. Program *Push Button*.
4. Program Pengambilan Data (sensor suhu DS18B20 dan sensor jarak HC-SR04).
5. Program Tampilan LCD 16x2.
6. Program *Zero Crossing Detector* dan Sinyal Pemicuan Triac.
7. Program Kendali PID.
8. Program Data Serial.

2.3.2. Perancangan Diagram Alir

Dalam penelitian ini, diagram alir yang dimaksud adalah alur jalannya program pada sistem pemanas saat dijalankan. Diagram alir (*flowchart*) sistem pada Gambar 4. menunjukkan alur kerja sistem pemanas pada *automatic coffe instant dispenser*.



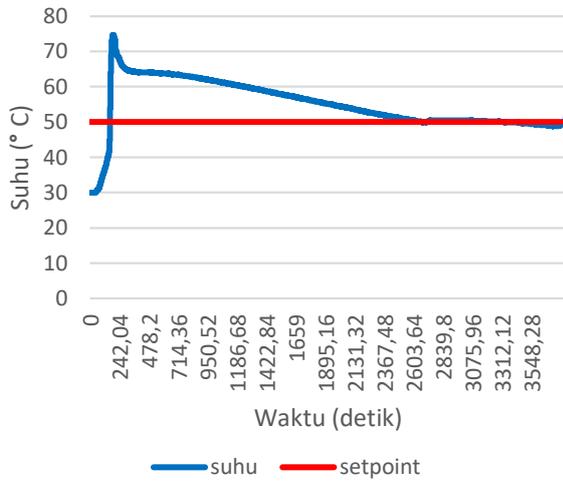
Gambar 4. Diagram alir sistem pemanas

3. Hasil dan Analisis

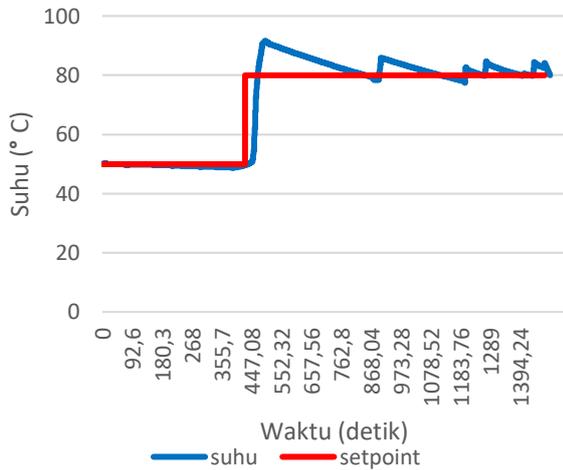
Penelitian tugas akhir ini merancang sistem pengaturan suhu pada *automatic coffee instant dispenser* dengan menggunakan kontrol PID. Secara garis besar, pengujian pada sistem ini dibagi menjadi beberapa bagian yaitu, pengukuran catu daya, pengujian sensor DS18B20, HC-SR04, pengujian LCD, pengujian servo, pengujian pengendali tegangan AC dan *push button*, dan pengujian kontroler. Tetapi, akan ditampilkan 2 pengujian keseluruhan sistem yaitu dengan kontroler *on-off* dan dengan kontroler PID.

3.1. Penentuan Kontrol On-Off

Pengujian kontrol *on-off* dilakukan dalam penelitian terhadap kontrol suhu *automatic coffe instant dispenser*. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, *set point* pada pengujian ini adalah 50 °C dan 80 °C. Pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 5. dan Gambar 6. berbentuk respon sistem.



Gambar 5. Respon sistem kontrol on-off setpoint 50 °C



Gambar 6. Respon sistem kontrol on-off dari 50 °C - 80 °C.

Tabel 1. Data pengujian kontrol on-off.

No	Set Point (°C)	t_r (s)	t_p (s)	t_s (s)	IAE	Keterangan
1	30 - 50	171	190	3305	19415	Osilasi
2	50 - 80	59,5	69,9	792	3469	Osilasi

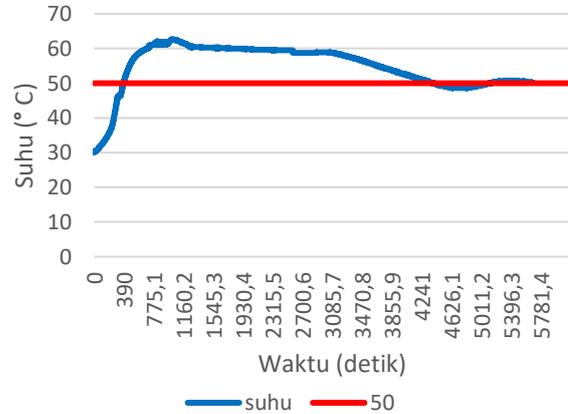
Dari data yang ditunjukkan pada Tabel 1. hasil pengujian kontrol on-off adalah beresilasi pada semua setpoint.

3.2. Penentuan Kontroler PID

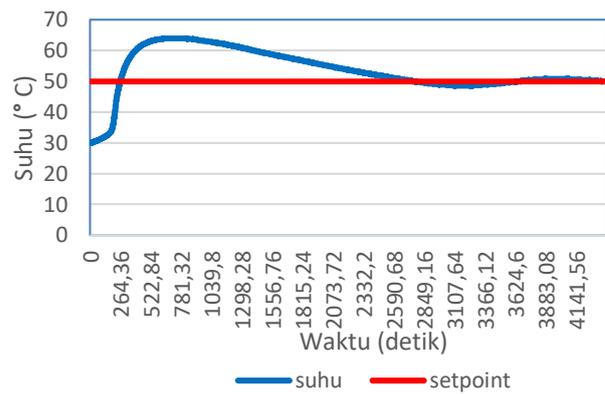
3.2.1. Kontroler P

Pengujian sistem menggunakan kontroler P dilakukan dengan memberikan nilai gain proporsional yang bervariasi pada sistem. Pemberian variasi nilai K_p adalah 10 dan 15. Dengan memberi nilai parameter K_i sebesar 0 dan K_d sebesar 0.

Gambar 7. dan Gambar 8. menunjukkan respon sistem yang didapat dari pengujian. Dapat diketahui nilai waktu naik (t_r), waktu puncak (t_p), dan settling time (t_s).



Gambar 7. Respon sistem dengan $K_p = 10$

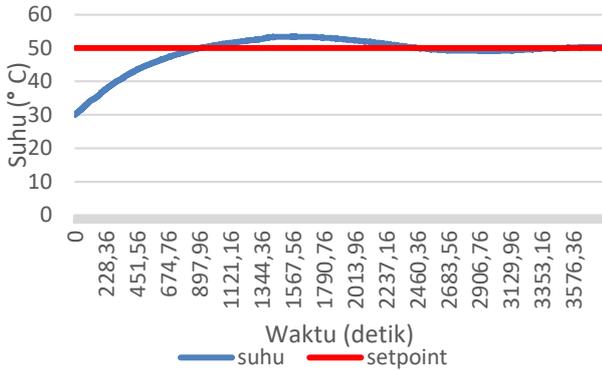


Gambar 8. Respon sistem dengan $K_p = 15$

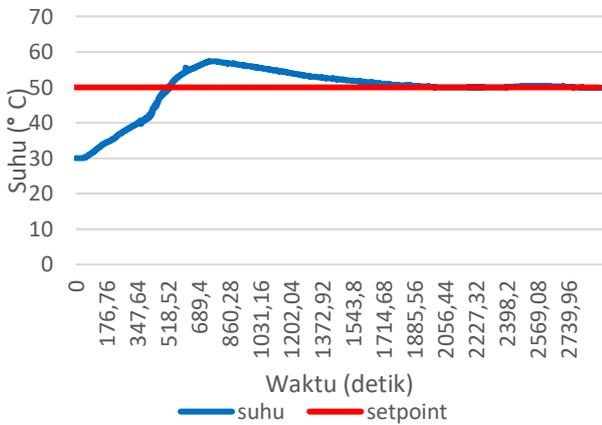
Dari hasil respon sistem, dapat diambil kesimpulan bahwa nilai gain terbaik adalah saat $K_p=15$, $K_i=0$, $K_d=0$. Pada saat parameter PID diberi nilai gain tersebut, sistem memiliki respon naik 264 detik, settling time sebesar 2747 detik dan IAE adalah 24026. Pada pengujian ini disimpulkan bahwa sistem sudah stabil menggunakan kontrol P dengan nilai K_p yang digunakan sebesar 15.

3.2.2. Kontroler PD

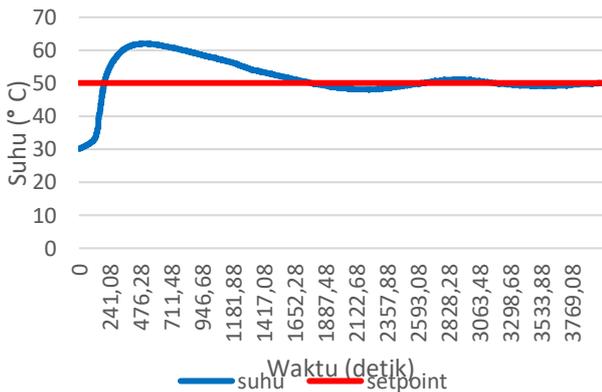
Pengujian selanjutnya dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter K_d dengan cara memberikan nilai K_p 10 dan 15 yang telah didapat dan variasi K_d pada sistem yaitu 400, 500, dan. Gambar 9. sampai Gambar 11. menunjukkan respon sistem yang didapat dari pengujian. Dapat diketahui nilai waktu naik (t_r), waktu puncak (t_p), dan settling time (t_s).



Gambar 9. Respon sistem dengan $K_p = 10$ dan $K_d = 500$.



Gambar 10. Respon sistem dengan $K_p = 15$ dan $K_d = 500$

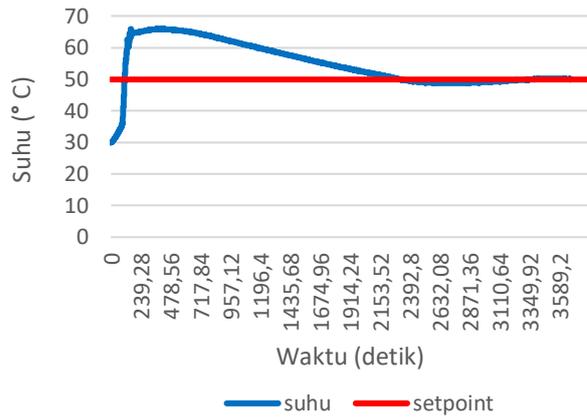


Gambar 11. Respon sistem dengan $K_p = 15$ dan $K_d = 400$

Berdasarkan data yang dihasilkan pada pengujian ini yang dapat dilihat pada Gambar 9. sampai dengan Gambar 11. Dapat disimpulkan bahwa sistem respon terbaik pada pengujian kontrol PD ini pada pemberian parameter $K_p = 15$ dan $K_d = 400$ karena sudah mengurangi *overshoot* pada pengujian sebelumnya.

3.2.3. Kontroler PID

Pengujian kontroler PID digunakan untuk mengetahui apakah parameter K_d dapat memperbaiki sistem menjadi lebih baik. Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai K_p dan K_d yang sudah didapatkan pada pengujian sebelumnya kemudian memberikan nilai K_i .



Gambar 12. Respon sistem dengan $K_p = 15$, $K_i = 0,5$, dan $K_d = 400$

Dari pemberian nilai K_i yaitu yang diberikan pada Gambar 12. Pemberian nilai K_i hanya berjumlah satu percobaan karena hanya dengan memeberikan nilai K_i yaitu 0,5 saja respon sistem menghasilkan *overshoot* yang sangat besar. Setelah semua percobaan dilakukan didapat data yang dapat dilihat pada Tabel 2. dari respon sistem.

Tabel 2. Hasil respon sistem parameter PID.

No	Ki	Kd	Ts (s)	Td (s)	Tr (s)	IAE	Keterangan
1	0	0	5103	1218	462	31035	Osilasi
2	0	0	2747	668	264	24026	Osilasi
3	0	500	2270	1589	901	10670	Oslasi
4	0	500	1716	750	526	11701	Osilasi Sedikit
5	0	400	1664	499	198	15133	Stabil, sedikit overshoot
6	0,5	400	2189	369	109	22533	Osilasi

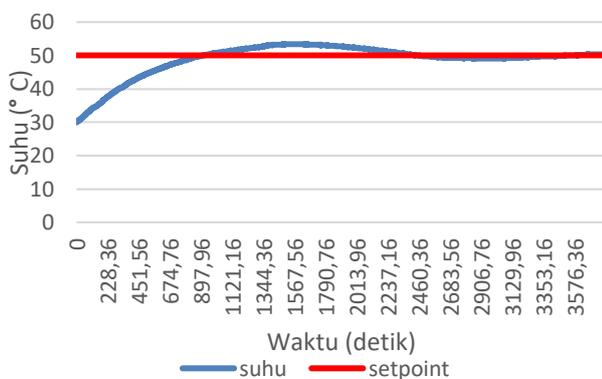
Berdasarkan hasil respon yang telah ditampilkan dalam Tabel 2 diperoleh kesimpulan hasil terbaik ada pada *gain* PID untuk mendapatkan kestabilan sesuai dengan nilai IAE adalah parameter $K_p = 10$, $K_i = 0$, $K_d = 500$. Respon yang diperoleh adalah sistem respon dengan nilai *overshoot* kecil, tanpa *error steady state*, dan nilai *integral area error* paling kecil diantara hasil respon lainnya serta suhu sesuai dengan *setpoint* sehingga sistem dapat berjalan lebih stabil. Sedangkan untuk parameter *gain* PID untuk mendapatkan respon sistem dengan nilai *rise time* terkecil adalah $K_p=15$, $K_i=0,5$ dan $KD=400$.

3.3. Pengujian Kontrol PID

Pengujian perangkat lunak pada penelitian ini adalah pengujian pengendali terhadap kerja sistem pengendalian suhu cairan pada alat *automatic coffee instant dispenser*. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui respon dan karakteristik *software* dalam proses pengendalian suhu cairan pada *plant*. Pengujian ini terdiri dari pengujian sistem dengan referensi tetap, referensi naik, referensi turun dan respon dengan gangguan. Parameter kestabilan sistem tersebut dapat dilihat dari besarnya *dead time*, T_s (*settling time*), T_r (*Rise Time*) dan *overshoot* yang dihasilkan. Dari hasil pengujian yang dilakukan berulang-ulang, diharapkan adanya respon sistem terbaik, yaitu respon yang memiliki T_r dan T_s yang terkecil serta nilai *overshoot* yang masih dalam batas toleransi.

3.3.1. Pengujian Sistem Referensi Tetap

Pengujian sistem pengendalian suhu pada tahap ini adalah menggunakan referensi tetap. Pengujian referensi tetap adalah pengujian yang menggunakan *set point* tetap yaitu 50°C. Suhu awal cairan yang ada pada alat pemanas adalah 30°C.



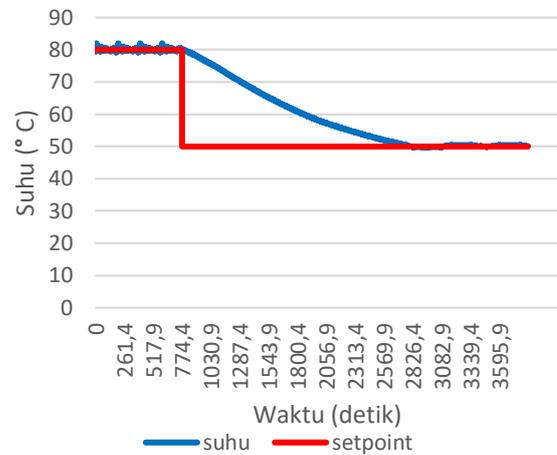
Gambar 13. Respon sistem metode PID dengan referensi tetap

Pengujian dengan referensi tetap menggunakan kendali PID ini dapat menghasilkan sinyal kontrol yang baik sehingga dapat menghasilkan respon yang baik. Respon sistem pada pengujian dengan referensi tetap menghasilkan T_r (waktu naik) sebesar 264 detik dan T_s sebesar 2747 detik. Pada respon sistem ini terdapat maksimum *overshoot* sebesar 3°C.

3.3.2. Pengujian Sistem dengan Referensi Turun

Pengujian dengan referensi turun dilakukan dengan cara memberikan *set point* dengan suhu 80°C kemudian diturunkan menjadi 50°C. Pengujian ini dilakukan dengan

tujuan untuk mengetahui seberapa baik kontroler jika sistem harus merespon *set point* yang bersifat menurun. Sistem ini diuji dengan lama pengujian 3800 detik. .

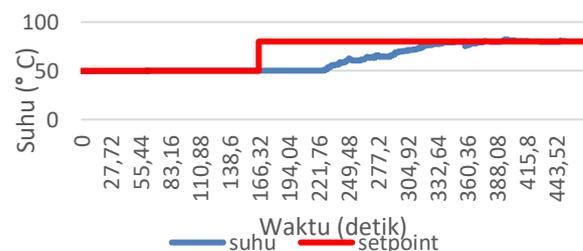


Gambar 14. Respon sistem metode PID dengan referensi turun

Hasil pengujian dengan referensi turun menggunakan kendali PID menunjukkan bahwa kontroler dapat mengatur perubahan suhu cairan mengikuti perubahan *set point* yang diberikan pada sistem. Pada respon sistem saat *set point* diturunkan menjadi 50°C sistem menghasilkan T_r (waktu naik) sebesar $(2805-779) = 2026$ detik, dan T_s sebesar $(3073-779) = 2294$ detik. Pada pengujian ini, tidak terdapat *overshoot* dan *error steady state*. Sistem dapat mempertahankan kestabilan sampai akhir pengujian sistem. Pada pengujian dengan referensi turun, terlihat bahwa respon sistem saat *set point* diturunkan relatif lebih lama jika dibandingkan saat *set point* dinaikkan. Hal ini disebabkan karena saat *set point* turun, tidak ada aktuator khusus yang digunakan untuk menurunkan suhu cairan.

3.3.3. Pengujian Sistem terhadap Gangguan

Pada tahap ini, sistem pengendalian suhu pada alat pemanas kopi dan *creamer* diuji dengan gangguan. Gangguan yang dimaksud dalam pengujian ini adalah menambahkan air sebanyak 130 mililiter ke dalam alat pemanas (*heater*).



Gambar 15. Respon sistem metode PID terhadap gangguan

3.4. Pengujian Suhu Akhir

Setelah proses pemanasan yang mempunyai *set point* awal sebesar 50°C dan *set point* akhir 80°C pada kedua *heater*, bahan-bahan akan dialirkan ke gelas melewati *valve* 1 dan 2 sesuai takaran menu. Pada semua menu, *set point* akhir volume gelas adalah sama yaitu 175 ml. Untuk menu Latte perbandingan antara kopi dan *creamer* adalah 1 : 3 dan untuk Cappuccino perbandingannya adalah 1 : 2.

Tabel 3. Hasil Pengujian Suhu dari Hasil Akhir Dispenser Kopi Otomatis Menu Espresso

Pengujian	Set Point (°C)	Hasil Pengujian (°C)	Error (°C)
Ke-1	80	78	4
Ke-2	80	81	2
Ke-3	80	77	2
Ke-4	80	78	5
Ke-5	80	79	2
	Error		15
	Error rata-rata		3

Tabel 4. Hasil Pengujian Suhu dari Hasil Akhir Dispenser Kopi Otomatis Menu Latte

Pengujian	Set Point (°C)	Hasil Pengujian (°C)	Error (°C)
Ke-1	80	78	2
Ke-2	80	76	4
Ke-3	80	77	3
Ke-4	80	78	2
Ke-5	80	81	1
	Error		12
	Error rata-rata		2,4

Tabel 5. Hasil Pengujian Suhu dari Hasil Akhir Dispenser Kopi Otomatis Menu Cappuccino

Pengujian	Set Point (°C)	Hasil Pengujian (°C)	Error (°C)
Ke-1	80	78	2
Ke-2	80	76	4
Ke-3	80	77	3
Ke-4	80	77	3
Ke-5	80	81	1
	Error		13
	Error rata-rata		2,6

Pada pengujian ini sistem diberikan *setpoint* akhir sebesar 80°C yang telah Percobaan pada menu espresso takaran antara kopi dan *creamer* yaitu 1:0. Error yang rata-rata yang dihasilkan pada menu ini adalah 3 °C. Percobaan pada menu Cappuccino takaran antara kopi dan *creamer* yaitu 1:2. Error yang rata-rata yang dihasilkan pada menu ini adalah 2,4 °C. Percobaan pada menu Latte takaran antara kopi dan *creamer* yaitu 1:3. Error yang rata-rata yang dihasilkan pada menu ini adalah 2,6 °C.

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol pemanas pada alat *automatic coffee instant* dispenser dapat memanaskan kopi dan *creamer* sesuai *setpoint* yang diinginkan yaitu sebesar 50°C. Pada penalaan parameter PID dengan metode *trial and error*, didapatkan nilai penguat terbaik yaitu $K_p = 10$, $K_i = 0$, dan $K_d = 500$ untuk kedua cairan. Respon sistem ini memiliki waktu naik 901 detik, waktu puncak 1589 detik dan *settling time* sebesar 2270 detik serta untuk nilai *integral absolute error* sebesar 10670. Sementara itu, pada sistem kontrol *on-off* memiliki waktu naik 171 detik, waktu puncak 1905 detik dan *settling time* sebesar 3305 detik serta untuk nilai *integral absolute error* sebesar 19415. Sistem kontrol PID memiliki respon sistem yang lebih baik bila dibandingkan dengan sistem *on-off*.

Referensi

- [1]. “Manfaat Kopi.” [Online]. Available: <http://www.kerjanya.net/faq/11011-manfaat-kopi.html>. [Accessed: 01-Nov-2016].
- [2]. “Tipe - Tipe Mesin Espresso .” [Online]. Available: <https://majalah.ottencoffee.co.id/mengetahui-tipe-tipe-mesin-espresso/>. [Accessed: 01-Nov-2016].P.
- [3]. “Automatic Coffe Dispenser.” [Online]. Available: 3 <http://www.mesinraya.co.id/automatic-coffe-dispenser-sc-8703.html/>. [Accessed: 07-Nov-2016].Rofarsyam.
- [4]. D.Pamela and T.Jebarajan, “Intelligent Controller for Temperature Process,” *Int. J. Control Autom.*, vol. 6, no. 5, pp. 191–198, 2013.
- [5]. S. Kocher and A. K. Kori, “PID Based Temperature Control of a Plant Heat Exchanger System,” *Nov. Res. Electr. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 43–47, 2015.
- [6]. Purwanto, “Pengendali Motor Servo Dc Standard Dengan Berbasis Mikrokontroler AVR ATMEGA8535,” no. 21, 2009.
- [7]. Maxim Integrated, “DS18B20 Digital Thermometer Datasheet,” 2008. [Online]. Available: http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/D/S/1/8/DS18B20.shtml ds18b20. [Accessed: 20-Aug-2016].
- [8]. ElecFreaks, “Ultrasonic Ranging Module HC - SR04,” *Datasheet*, pp. 1–4, 2013.