

SISTEM PENSTABILAN SUHU PELELEHAN PADA PRINTER TIGA DIMENSI MENGGUNAKAN KONTROLER PID

Muhammad Taufiq Al-Ramadhan¹, Dr. Ir. Bambang Siswojo, M.T.², Ir. Purwanto, M.T.³

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan M.T. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
Surel: gottlichengott@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu hal yang mempengaruhi cepat-lambatnya proses cetak pada Printer 3D adalah ketahanan, kemantapan, maupun kestabilan suhu pelelehan bahan. Karenanya perlu dilakukan pengendalian agar suhu pelelehan tersebut dapat bertahan pada angka tertentu, sehingga gangguan dapat diminimalkan dan proses pencetakan tetap berjalan pada kinerja terbaiknya. Sistem kendali pada penelitian kali ini memakai kontroler PID dengan metode pertama dari Ziegler-Nichols untuk mendapatkan parameter kontrol, yakni $K_p=35,56$; $K_i=1,975$; dan $K_d=160,02$. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kontroler PID tersebut dapat dikatakan mampu menjadikan suhu pelelehan bertahan sesuai dengan nilai yang dikehendaki (*set point*).

Kata Kunci: *Printer Tiga Dimensi, Suhu Pelelehan, Kontroler PID, Metode Pertama Ziegler-Nichols.*

ABSTRACT

One of many things that affect the process of printing three-dimensional objects is the durability, steadiness, and the stability of the temperature, which is use to melt the material. Therefore, controlling the temperature is necessary, so it can withstand at a certain rate, then the interference can be minimalized and the printing process is still running at its best performance. The control system in this research are using the PID controller, with the first method of Ziegler-Nichols to gain control parameters, i.e. $K_p = 35.56$; $K_i = 1.975$; and $K_d = 160.02$. To be told, the test results indicate that the PID controller are able to make the melting temperature suit to the desired value (set point).

Keywords: *Three-Dimensional Printer, Melting Process, PID Controller, First Method of Ziegler-Nichols*

¹ Muhammad Taufiq Al-Ramadhan, Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia
(085743065666; Surel: gottlichengott@gmail.com)

² Dr. Ir. Bambang Siswojo, M.T., Dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

³ Ir. Purwanto, M.T., Dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

I. PENDAHULUAN

Sebagian besar orang kiranya telah akrab dengan kata “*printer*”. Benda tersebut adalah suatu alat untuk mencetak berkas digital (naskah yang diketik di komputer, foto, brosur, artikel, poster, stiker) ke dalam bentuk *hard copy* (kertas). Perkembangan teknologi telah memungkinkan adanya metode pencetakan benda trimatra langsung dari desain menuju bentuk fisik, tanpa perlu perantara cetakan-cetakan lainnya. Serangkaian cara itu dikenal dengan sebutan *Rapid Prototyping*, yakni menumpuk bahan lapis demi lapis dengan memanfaatkan pola gerak lintas-sumbu (*cross-sectional*) menyesuaikan bentuk fisik obyek yang akan dihasilkan. Salah satu alat yang memakai teknik *Rapid Prototyping* tersebut adalah perangkat Printer Tiga Dimensi.

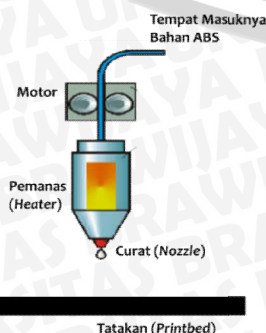
Bahan baku yang digunakan dalam Printer Tiga Dimensi adalah *Acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), salah satu jenis plastik yang dipakai dalam pembuatan selubung peralatan elektronik dan mainan lego, dikarenakan sifat plastik jenis ABS yang tahan banting, ringan, dan mudah dibentuk serta dapat dilelehkan namun tidak mudah terbakar. Titik lebur ABS berada pada 221° Fahrenheit atau sekitar 105° Celcius, namun agar pembentukan lebih mudah, proses cetak lebih cepat, dan hasil cetakan lebih sesuai dengan ukuran sebenarnya, plastik ABS pada Printer Tiga Dimensi dilelehkan pada suhu mantap 230° Celcius.

Persoalan yang lantas muncul adalah bagaimana menjaga kemantapan suhu pelelehan agar pencetak tetap bertahan pada kinerja terbaiknya, bagaimana keadaan sistem ketika ada gangguan. Hal tersebutlah yang mendasari penelitian ini, yakni pengendalian terhadap kemantapan suhu pelelehan pada bagian pemanas untuk mengatasi adanya gangguan.

II. IDENTIFIKASI SISTEM

A. Printer Tiga Dimensi

Salah satu metode cetak tiga dimensi adalah *Fused Deposition Modeling* (FDM). Proses cetaknya persis dengan keran air pada tempat wudhu atau di bak-bak kamar mandi sebuah rumah.



Gambar 2.1 Printer Tiga Dimensi

Perhatikan Gambar 2.1, bahan ABS diarahkan oleh motor ke bagian pemanas yang akan melelehkan bahan itu. Hasil lelehan tersebut lantas disemburkan keluar oleh bagian curat (*extruder*), yang digerakkan lintas-sumbu sehingga hasil cetak berwujud benda tiga dimensi.

B. Termokopel tipe T

Termokopel tipe T (lihat gambar 2.2) adalah sensor suhu berpengantar tembaga, dengan rentang ukur antara -200° hingga 350°C dan kepekaan ukur mencapai 43 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Sebagaimana sebutannya, termokopel terdiri dari dua jenis logam berbeda polaritas yang ujungnya ditempelkan. Prinsip kerjanya adalah memanfaatkan karakteristik hubungan antara tegangan dengan suhu. Tiap jenis logam, pada temperatur tertentu mempunyai tegangan tertentu pula. Pada temperatur yang sama, dua logam pada kawat penghantar yang berbeda polaritas itu tentu memiliki beda tegangan. Perbedaan tegangan itu linear dengan perubahan arus.



Gambar 2.2 Sensor Termokopel tipe T

C. Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)

Titik lebur ABS berada pada 221° Fahrenheit atau sekitar 105° Celcius. Meski demikian apabila ia berada pada suhu lebih dari 400°C, polimer ABS terurai menjadi unsur-unsur pembentuknya, mengganggu proses biologis manusia dan dapat menyebabkan kanker karena unsur tersebut mengendap di dalam paru-paru.



Gambar 2.3 Gulungan-gulungan ABS

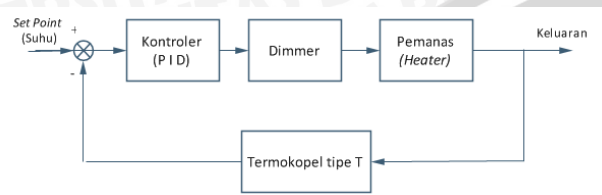
Pada perangkat Printer Tiga Dimensi, bahan baku ABS berbentuk seperti benang (lihat Gambar 2.3) dengan diameter 1,75 mm, sehingga bagian motor dapat menekan dan mengarahkannya menuju pemanas (Patrick Hood-Daniel dan James Floyd Kelly: 2011). Tiap gulungan berbobot 1 Kg dengan panjang 3-4 meter.

Agar kinerja cetak optimal, suhu pelelehan ABS pada Printer Tiga Dimensi ada di angka 230°C (Donny Sulayman: 2015).

III. PERANCANGAN

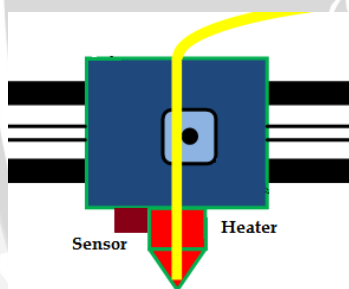
A. Perancangan Perangkat Keras

Sebelum perakitan mekanik terlebih dahulu disusun blok diagram yang merupakan bentuk awal serta acuan rancangan sistem dan asas kerja alat yang akan dibuat. Diagram sistem dapat dilihat pada Gambar 3.1.



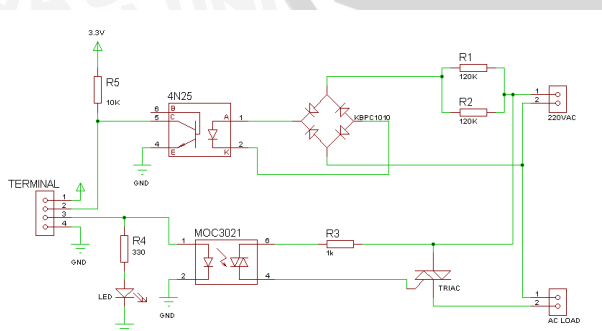
Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem

Perancangan perangkat keras pada intinya terdiri dari rancang mekanik pemanas Printer Tiga Dimensi, dan rangkaian bagian penyensoran suhu. Perancangan mekanik dilakukan sebagai dasar peletakan bagian-bagian pada Printer Tiga Dimensi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.2.



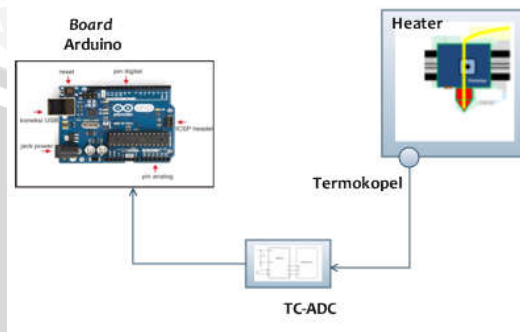
Gambar 3.2 Perancangan Mekanik Pemanas Printer Tiga Dimensi

Fungsi rangkaian *Dimmer* sebagai pengendali besarnya tegangan yang melewati pemanas. Di dalamnya terdapat rangkaian pemacu *gate* TRIAC dan rangkaian Zero Cross Detector. Bagan rangkaian *Dimmer* ada pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Bagan Rangkaian Dimmer

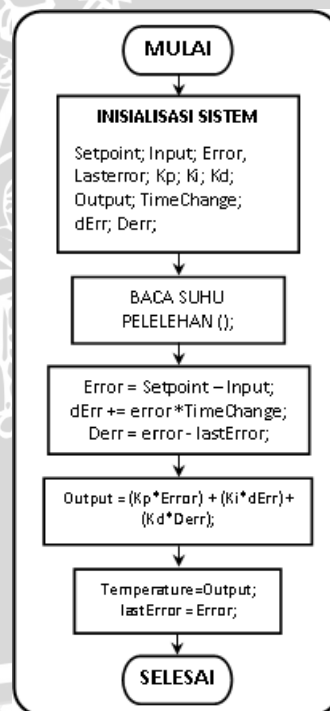
Pembacaan sensor suhu pada bagian pemanas akan mempengaruhi logika yang kemudian akan diterima oleh kontroler. Nilai tersebut kemudian dikonversi ke dalam derajat Celcius (°C). Skema penyambungan termokopel ke *board* mikrokontroler Arduino ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Skema Pemasangan Termokopel

B. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada penelitian ini menggunakan *compiler* Arduino IDE. Sebelum menulis program pada perangkat tersebut, terlebih dahulu dilakukan perancangan diagram alir (*flowchart*) sistem. Diagram alir sistem pada penelitian kali ini tertera pada Gambar 3.5.

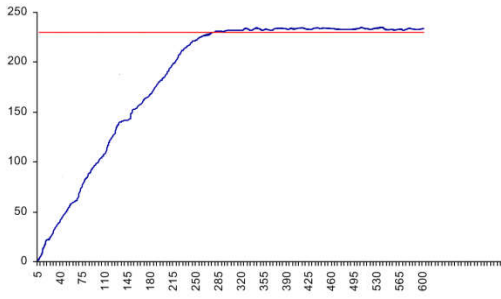


Gambar 3.5 Diagram Alir Sistem

C. Penalaan Parameter Kontrol

Pemilihan kontroler PID dikarenakan karakteristik plan yang memerlukan kontrol cepat dan meminimalkan *overshoot* sehingga dapat menghasilkan suhu yang mantap. Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan penentuan nilai gain proporsional (Kp), waktu integral

(Ti), dan waktu derivatif (Td) berdasarkan karakteristik respon transien dari plan. Menurut Ogata (1997), penalaan parameter dilakukan dengan bereksperimen terhadap plan.



Gambar 3.6 Grafik Karakteristik PID

Penelitian ini menggunakan metode pertama Ziegler dan Nichols karena karakteristik tanggapan berbentuk kurva S, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.6. Dari kurva tersebut dapat ditakik dua tetapan atau konstanta, yakni waktu tunda (L), sebesar 9 detik, dan waktu konstan (T), sebesar 320 detik. Data yang didapatkan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam aturan penalaan yang telah dirumuskan oleh Ziegler-Nichols. Nilai Kp, Ki, dan Kd yang diperoleh adalah sebagai berikut.

$$Kp = 1.2 \times \frac{T}{L} = 1.2 \times \frac{320}{9} = 35,56$$

$$Ki = \frac{Kp}{Ti} = \frac{35,56}{2 \times L} = \frac{35,56}{18} = 1,975$$

$$Kd = Kp \times Td = 35,56 \times (0.5 \times L) = 35,56 \times 4,5 = 160.02$$

Persamaan Transformasi Laplace yang didapatkan dari perolehan nilai tersebut adalah sebagai berikut.

$$C(s) = \left(Kp + \frac{Ki}{s} + Kds \right) e(s) \dots\dots\dots (1)$$

Agar dapat dijadikan masukan mikrokontroler, persamaan kontinyu di atas perlu diubah ke bentuk diskrit melalui Transformasi Z. Dalam Transformasi Z, dibutuhkan waktu *sampling* (Ts). Metode *Bacward Difference* dipakai, sehingga nilai notasi *s* pada Transformasi Laplace di atas setara dengan persamaan berikut.

$$s = \left(\frac{1-z^{-1}}{Ts} \right) \dots\dots\dots (2)$$

Persamaan (2) tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan (1), sehingga menghasilkan persamaan berikut.

$$C(z) = \left[Kp + \frac{Ki}{\frac{(1-z^{-1})}{Ts}} + Kd \frac{(1-z^{-1})}{Ts} \right] E(z)$$

$$= \left[Kp + \frac{Ki \times Ts}{(1-z^{-1})} + \frac{Kd}{Ts} (1-z^{-1}) \right] E(z)$$

Kontroler Proporsional: $Ci(z) = KpE(z)$

Kontroler Integral: $Ci(z) = \left(\frac{Kits}{1-z^{-1}} \right) xE(z)$

$$Ci(z) \quad Ci(z)z^{-1} = KiTsxE(z)$$

$$Ci(z) = Ci(z)z^{-1} + KiTs$$

Kontroler Derivatif:

$$Cd(z) = \frac{Kd}{Ts} (z)(1-z^{-1})xE(z)$$

$$= \frac{Kd}{Ts} [E(z) \quad E(z)z^{-1}]$$

Persamaan di atas kemudian diubah ke dalam bentuk Persamaan Beda (*Difference Eq.*), sehingga didapatkan persamaan

Kontroler Proporsional : $Cp(k) = Kp \times E(k)$

Kontroler Integral :

$$Ci(k) = Ci(k-1) + KiTs \times E(k)$$

Kontroler Derivatif :

$$Cd(k) = \frac{Kd}{Ts} [E(k) \quad E(k-1)]$$

yang jika digabungkan maka menjadi persamaan

$$C(k) = [Kp \times E(k)] + [Ci(k-1) + KiTs \times E(k)] + \left[\frac{Kd}{Ts} [E(k) \quad E(k-1)] \right]$$

di mana (k-1) adalah kondisi yang terjadi sebelumnya. Persamaan tersebut merupakan persamaan diskrit, sehingga dapat menjadi masukan mikrokontroler Arduino.

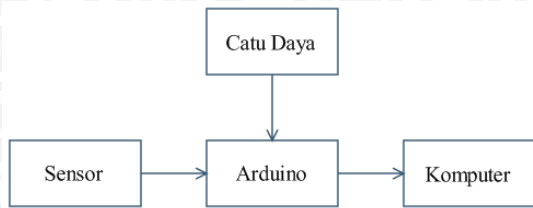
IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Tujuan pengujian sistem adalah untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat dapat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem meliputi pengujian sensor, pengujian rangkaian *dimmer*, dan pengujian keseluruhan sistem.

A. Pengujian Sensor Suhu

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon keluaran sensor dan mengetahui kemampuan sensor dalam melakukan pembacaan suhu. Peralatan yang

digunakan meliputi rangkaian Termokopel TC47-MB yang dirangkai dengan sumber tegangan 5 V, Arduino UNO, pemanas Printer Tiga Dimensi, dan disambungkan dengan komputer melalui USB. Lihat Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Bagan Pengujian Sensor

Hasil pengujian pembacaan suhu yang ditampilkan pada serial monitor ditunjukkan pada Tabel 4.1.

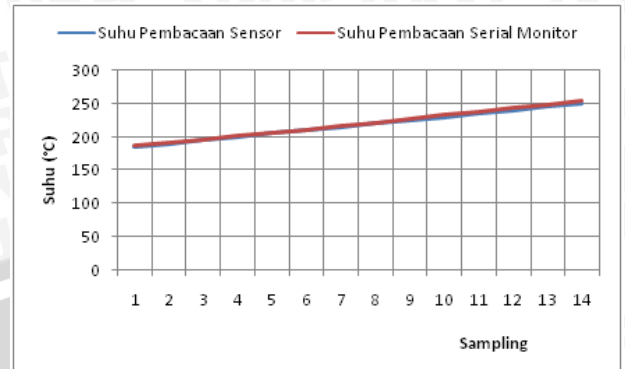
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sensor

No.	Pembacaan Sensor (°C)	Pembacaan Serial Monitor (°C)
1.	185	186,33
2.	190	190,27
3.	195	194,85
4.	200	200,22
5.	205	205,42
6.	210	209,75
7.	215	214,92
8.	220	220,19
9.	225	227,23
10.	230	232,65
11.	235	237,31
12.	240	243,53
13.	245	247,84
14.	250	253,59

Perhitungan kesalahan pembacaan sensor:

$$\begin{aligned}
 \% \text{ kesala an} &= \frac{(\sum \text{Hasil Pengukuran} - \sum \text{Referensi})}{\sum \text{Referensi}} \times 100\% \\
 &= \frac{(3052,6 - 3045)}{3045} \times 100\% = 0.24\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data pengambilan dan penghitungan persentase kesalahan tersebut, sensor Termokopel tipe T TC47-MB dapat digunakan dengan baik. Hal tersebut ditengarai dengan selisih pembacaan yang tidak terlalu jauh antara sensor dengan serial monitor, sehingga persentase kesalahan yang didapatkan hanya sebesar 0,24%. Gambar 4.2. merupakan grafik pembacaan suhu oleh sensor dan pembacaan suhu pada serial monitor.



Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian Sensor

B. Pengujian Rangkaian Dimmer

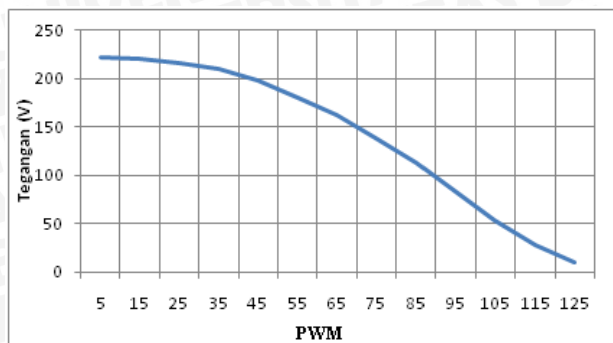
Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah rangkaian dimmer yang digunakan sebagai driver elemen pemanas dapat bekerja dengan kemampuan terbaiknya. Peralatan yang dipakai adalah rangkaian dimmer yang dihubungkan dengan catu daya AC dan Arduino UNO yang tersambung dengan komputer. Arduino berfungsi memberikan nilai PWM ke rangkaian dimmer tersebut.

Hasil pengujian rangkaian dimmer berupa nilai tegangan yang berbeda-beda, sesuai dengan nilai PWM yang diberikan, dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan Nilai PWM Terhadap Tegangan

No.	PWM	Tegangan (V)
1	125	9,28
2	115	26,94
3	105	53,1
4	95	83
5	85	112,2
6	75	137,96
7	65	160,9
8	55	180
9	45	197,8
10	35	208,7
11	25	215,6
12	15	220
13	5	221,1

Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa rangkaian dimmer berfungsi dengan bagus dan dapat digunakan dengan baik sebagai driver elemen pemanas. Hal itu ditandai dengan adanya perubahan tegangan akibat perubahan nilai PWM, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4.3.

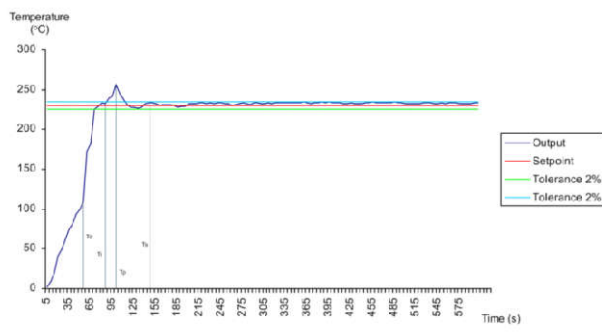


Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Nilai PWM Terhadap Tegangan

C. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sistem dapat bekerja sesuai dengan harapan, yakni dapat mempertahankan suhu pelelehan Printer Tiga Dimensi. Peralatan yang digunakan adalah plan pemanas (*heater*) Printer Tiga Dimensi yang dirangkai dengan sensor TC47-MB, dimmer, *board* Arduino, sumber tegangan, dan dihubungkan ke komputer.

Untuk pengujian pertama, sistem dijalankan dengan tanpa gangguan. Pengujian menggunakan kontroler PID dengan nilai K_p sebesar 35,56; nilai K_i sebesar 1,975; dan nilai K_d sebesar 160,02. Nilai yang ditetapkan (*set point*) berupa suhu sebesar 230°C. Hasil yang didapatkan tertera pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Pengujian Sistem Tanpa Gangguan

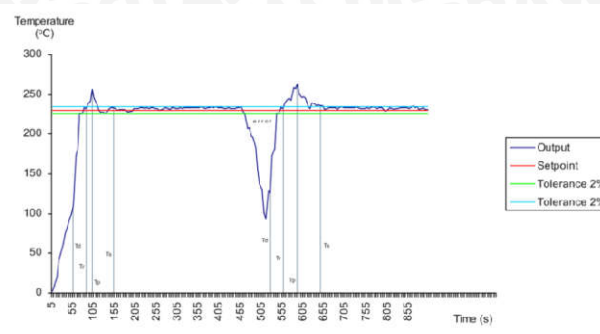
Perolehan data dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Pengujian Sistem Tanpa Gangguan

Waktu Tunda (T_d)	41,8 detik
Waktu Naik (T_r)	83,6 detik
Waktu Puncak (T_p)	110,8 detik
Waktu Keadaan Tunak (T_s)	146,4 detik
<i>Error Steady State</i>	0,14%

Pengujian berikutnya adalah menguji-cobakan gangguan pada sistem. Pada saat sistem sudah mencapai

keadaan mantap, gangguan diberikan dengan cara menghentikan kinerja sistem selama sekitar 5 (lima) menit sehingga mengubah besarnya suhu pada sistem.. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Pengujian Sistem Ketika Terjadi Gangguan

Perolehan data pengujian sistem ketika terjadi gangguan tertera dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data Pengujian Sistem Ketika Terjadi Gangguan

Waktu Tunda (T_d)	43,5 detik
Waktu Naik (T_r)	87,0 detik
Waktu Puncak (T_p)	114,1 detik
Waktu Keadaan Mantap (T_s)	152,7 detik
<i>Error Steady State</i>	0,18%

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Perancangan terdiri dari pembuatan blok diagram, rancang mekanik, dan penalaan parameter kontrol. Penalaan parameter tersebut dilakukan dengan bereksperimen terhadap plan. Nilai yang didapatkan adalah $K_p = 35,56$; $K_i = 1,975$; dan $K_d = 160,02$.
2. Ketika mendapat gangguan, berupa turunnya suhu pelelehan pada pemanas, sistem kembali tunak (*steady*) setelah 152,7 detik dari titik awal terjadinya gangguan, *error steady state* sebesar 0,18%.

B. Saran

Perancangan dan pembuatan alat ini masih memiliki kekurangan. Untuk penelitian berikutnya, disarankan memakai jenis kontroler lain sebagai pengendali. Boleh juga menggunakan sensor suhu yang lain sebagai perbandingan pembacaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amstrom, K. J.& Hagglund, Tore. 1995. *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. Instrument Society of America: Research Triangle Park.
- [2] Arduino. *Arduino UNO*.
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> (diakses pada 14 Maret 2016).
- [3] Evans, Brians. 2012. *Practical 3D Printer: The Science and Art of 3D Printing*. New York: Springer.
- [4] Google Docs. *U.S. Patent 4575330A: Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography*.
<https://www.google.com/patents/US4575330> (diakses pada 12 Desember 2015).
- [5] Kelly, James Floyd & Hood-Daniel, Patrick. 2011. *Printing in Plastic: Build Your Own 3D Printer*. New York: Springer.
- [6] Matterhackers. *3D Filament Comparison Guide*.
<https://www.matterhackers.com/3d-printer-filament-compare> (diakses pada 4 Januari 2016).
- [7] National Geographic Magazine Online. *3 Ways to Print in 3D*.
<http://ngm.nationalgeographic.com/2014/12/3d-printer/methods-graphic> (diakses pada 4 Januari 2016).
- [8] ----- *Just Press Print*.
<http://ngm.nationalgeographic.com/2014/12/3d-printer/smith-text> (diakses pada 5 Januari 2016).
- [9] ----- *What, Exactly, is the 3D Printer?*.
<http://news.nationalgeographic.com/news/2013/13/130507-3d-printer-handgun-plastic-cody-wilson> (diakses pada 4 Januari 2016).
- [10] Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga.
- [11] Sulayman, Donny. 2015. *Naskah Publikasi Tugas Akhir: Pengaruh Suhu dari Heater Nozzle terhadap Produk Printer 3D*. Kartasura: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [12] Wikipedia. *Acrylonitrile butadiene styrene*.
https://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile_butadiene_styrene (diakses pada 14 Maret 2015).
- [13] ----- *Ziegler-Nichols Method*.
https://en.wikipedia.org/wiki/Ziegler-Nichols_method (diakses pada 17 Maret 2016).
- [14] Youtube. *3D Printing: Make Everything You Want*.
<https://www.youtube.com/watch?v=G0EJmBoLq-g> (diakses pada 12 Februari 2016).