

Metode PID untuk pengkondisian suhu pada *bedplate* di pencetak 3D 2x2x2 meter

Budhy Setiawan¹, Purusatama², Delila Cahya³

e-mail: budhy.setiawan@polinema.ac.id, purusatama7@gmail.com, delilacahya@gmail.com

¹²³Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 10 Februari 2021

Direvisi 1 April 2021

Diterbitkan 29 April 2021

Kata kunci:

Bedplate

HDPE

PID

Keywords:

First keyword

Second keyword

Third keyword

ABSTRAK

3D Printer mulai digunakan di dalam dunia industri Indonesia dalam beberapa tahun terakhir, karena dengan menggunakan 3D printer pembuatan *prototype* yang biasanya memakan waktu cukup lama dapat dibuat dalam waktu yang lebih singkat. Pada pembuatan 3D Printer *Bedplate* bisa dibidang salah satu bagian terpenting dari 3D printer, karena tidak akan bisa mencetak dengan baik tanpa itu. Fungsi utama *Bedplate* sendiri yaitu sebagai tempat alas cetak selama proses mencetak berlangsung. Terdapat banyak variasi *Bedplate* dengan menggunakan permukaan yang berbeda, karakteristik termal yang berbeda dan ukuran yang berbeda. *Bedplate* yang dijual secara universal memiliki ukuran kurang dari 50 cm sehingga jika ingin mencetak obyek dengan ukuran lebih dari 50 cm diperlukan *bedplate* dengan ukuran lebih dari 50 cm. Pada penelitian ini untuk mencetak obyek menggunakan *Bedplate* dengan ukuran 1 x 2 meter yang terbuat dari bahan kaca dan untuk *filament* menggunakan bahan biji plastik high density polyethylene (HDPE). *Filament* HDPE cenderung memiliki daya rekat yang buruk pada permukaan. Pada bahan cetak 3D Printer menggunakan Bahan high density polyethylene (HDPE) diperlukan suhu Konstan 65°C secara merata pada *Bedplate* agar bahan cetak dapat menempel dengan baik pada *Bedplate*. Untuk menghasilkan hasil cetakan yang baik, suhu *Bedplate* harus dikontrol dengan tepat dengan menggunakan Metode Proportional Intergral Deferential (PID), suhu terbaik *Bedplate* untuk Untuk proses penempelan bahan high density polyethylene HDPE adalah sebesar 65°C

ABSTRACT

3D Printer began to be used in the Indonesian industrial world in recent years, because by using 3D printers that usually take a long time can be made in a shorter time. In the manufacture of 3D Printer Bedplate is arguably one of the most important parts of 3D printers, because it would not be able to print well without it. The main function of Bedplate itself is as a printing base during the printing process. There are many variations of Bedplate using different surfaces, different thermal characteristics and different sizes. Bedplate sold universally has a size of less than 50 cm so if you want to print objects with a size of more than 50 cm is required bedplate with a size of more than 50 cm. In this study to print objects using Bedplate with a size of 1 x 2 meters made of glass and for filament using high density polyethylene (HDPE) plastic seed material. HDPE filaments tend to have poor adhesion on the surface. In 3D printing materials Printers use high density polyethylene (HDPE) materials required Constant temperature of 65 °C evenly on the Bedplate so that the print material can stick well to the Bedplate. To produce a good print result, the temperature of Bedplate must be controlled precisely by using the

Proportional Integral Deferential Method (PID), the best temperature bedplate for the process of attaching materials High density polyethylene HDPE material is 65 °C.

Penulis Korespondensi:

Budhy Setiawan,
Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Malang,
Jl. Soekarno-Hatta No.9, Malang, Jawa Timur
Email: budhy.setiawan@polinema.ac.id

1. PENDAHULUAN

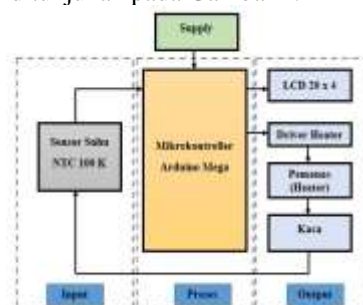
Industri manufaktur desain suatu produk menjadi bagian penting mengingat begitu ketatnya persaingan dan cepatnya inovasi yang dikeluarkan oleh produsen untuk mendapatkan pasar penjualan [1]. Untuk mendesain suatu produk dapat menggunakan 3D Printer. 3D Printer memiliki banyak keunggulan dalam penghematan biaya produksi dan kemampuan menghasilkan produk dengan bentuk yang rumit [2]. Pembuatan produk dapat dibuat dalam waktu yang lebih singkat dengan 3D Printer. Teknologi 3D Printer digunakan secara luas dalam berbagai bidang, seperti memproduksi *prototype* komponen mekanik secara cepat dari gambar *software* 3D [3]. Dalam 3D Printer *Bedplate* adalah salah satu bagian terpenting dari 3D Printer, fungsi *Bedplate* sendiri yaitu sebagai tempat alas cetak selama proses mencetak berlangsung. Umumnya bahan *Bedplate* terbuat dari kaca, aluminium, dan bahan lain yang tahan panas untuk mempertahankan obyek yang di cetak tetap melekat pada permukaan untuk sementara [4]. *Bedplate* memiliki banyak variasi, dengan permukaan yang berbeda, karakteristik termal yang berbeda dan Ukuran yang berbeda. Pada *Bedplate universal* yang digunakan untuk 3D Printer memiliki ukuran kurang dari 50 cm karena digunakan untuk mencetak obyek dengan ukuran sedang atau kurang dari 50 cm sedangkan jika menginginkan obyek cetak dengan ukuran besar atau lebih dari 50 cm diperlukan ukuran *Bedplate* yang besar dengan ukuran 1 x 2 meter atau seluas 2m².

Mencetak suatu Obyek pada 3D printer banyak menggunakan bahan plastik jenis plastik yang bisa didaur ulang seperti high density polyethylene (HDPE), polyvinyl chloride (PVC), dan low density [5]. Bahan cetak 3D Printer menggunakan Bahan HDPE tidak mudah untuk dicetak. Selama pencetakan, pengaturan *Bedplate* disarankan untuk membatasi terhadap kerentanan pembengkokan karena temperatur pada bagian cetakan [6]. *Filament* HDPE cenderung memiliki daya rekat yang buruk pada permukaan. *Warping* juga masalah pada *filament* HDPE karena *filament* yang dipanaskan di *Bedplate* cepat mendingin dan menyusut. penyusutan akan menyebabkan kerusakan lapisan sehingga akan menghasilkan objek 3D tidak rata [7]. *Filament* HDPE menggunakan suhu 70°C pada *Bedplate* [8]. Tanpa pengawasan yang cermat terhadap proses pencetakan terutama pada temperatur *Bedplate* untuk bahan HDPE dapat membuat hasil cetak 3D Printer rusak, sehingga diperlukan bagaimana mendesain dan membuat *Bedplate* dengan pemanas *heater* seluas 2m² menggunakan *Heater* 677,8 watt sejumlah 8 *heater* dengan luas masing-masing 50 x 50 cm untuk mendapatkan suhu yang tepat pada *Bedplate* untuk bahan *filament* HDPE dengan kontrol temperatur yang tepat menggunakan Metode Proportional Integral Derivative (PID) pada *Bedplate*, agar suhu *Bedplate* dapat terjaga stabil dan merata agar bahan cetak HDPE dapat menempel dengan baik pada *Bedplate*.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Diagram Blok Sistem *Bedplate*

Diagram blok sistem *bedplate* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem *Bedplate*

Gambar 1 merupakan diagram blok sistem *bedplate* dengan input sistem adalah sensor suhu NTC 100K. Sensor NTC 100K mendeteksi suhu pada system *bedplate*, proses pembacaan sensor pada mikrokontroller dengan arduino mega dan *output* sistem untuk memansakan kaca dengan *heater* dan *output* pembacaan suhu ditampilkan pada *display* LCD.

2.2 Spesifikasi Alat

Pada sistem 3D Printer Simetris Bilateral ini memerlukan spesifikasi *Bedplate* sebagai berikut:

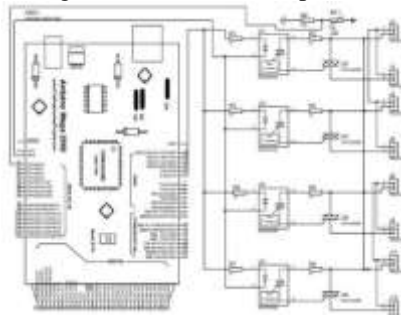
- Dimensi *Bedplate*
 - Panjang = 2 m
 - Lebar = 1 m
 - Tebal = 5 mm
- Bahan Rangka = Besi *Hollow*
- Berat *Bedplate* = 27,5 kg
- Ukuran *Heater* = 50 x 50 cm

2.3 Perancangan Elektronik

- Sensor = Sensor NTC 100 kΩ
- Kontroler = *Arduino Mega*
- Aktuator = *Heater 677,8 Watt*
- Tegangan Kerja = 220 V
- *Arduino Mega* = 5 VDC

2.4 Perancangan Rangkaian Driver Suhu

Rangkaian *driver heater* AC berfungsi untuk mengendalikan temperatur dari *Bedplate*, rangkaian ini berfungsi mengontrol 8 *Heater* yang digunakan untuk memanaskan *Bedplate* dengan ukuran 1 x 2 m. Setiap *driver heater* mengontrol 2 *heater* AC yang disusun secara paralel. Ketika suhu melebihi nilai set point, maka kontrol suhu akan menurunkan daya Rangkaian *Driver Suhu* seperti ditunjukkan pada gambar 2.

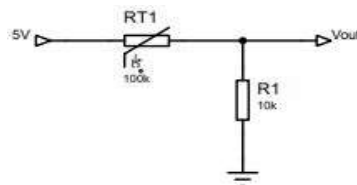


Gambar 2. Rangkaian *Driver Suhu*

Kontrol pada rangkian *Driver Heater* diatur melalui pin pada mikrokontroller *Arduino Mega 2560*. rangkaian *driver heater* sesuai datasheet MOC3041 dengan memanfaatkan masukan dengan arus searah 15 mA. Jika ada arus melewati MOC41 kaki 1 dan 2, Hal ini akan mengakibatkan dioda yang berada didalam MOC 3041 aktif dan transistor yang berada di dalam MOC 3041 juga aktif. Keadaan ini akan mengakibatkan arus dari jala-jala 220VAC mengalir ke kaki Gate transistor dan akan memicu Transistor tersebut. Pemicuan ini mengakibatkan kaki MT1 dan MT2 transistor akan terhubung dan jala-jala 220VAC akan mengalir melalui beban [9] Dengan diaturnya waktu pemberian sinyal pemicuan, maka besarnya tegangan yang diterima *heater* juga akan bervariasi.

2.5 Perancangan Sensor Suhu NTC 100 kΩ

Pada Kontrol suhu *Bedplate* Sensor NTC 100 kΩ digunakan mengukur suhu pada *Bedplate*



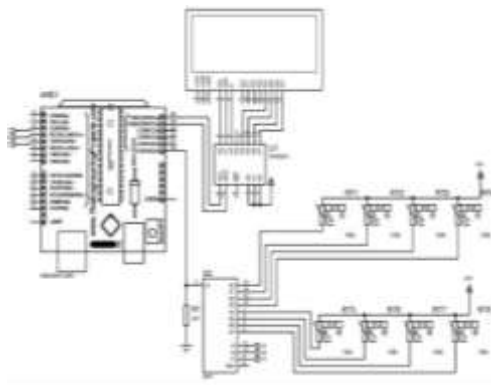
Gambar 3. Rangkaian Sensor Suhu NTC 100 kΩ

Rangkaian gambar 3 Sensor suhu Thermistor jenis *Negative Coefisien Temperature* (NTC). NTC adalah jenis termistor nilai resistansi mana yang akan menurun saat terjadi peningkatan suhu [10]. Pada penelitian ini, menggunakan NTC yang memiliki kapasitas 100 kΩ. Thermistor NTC 100 kΩ mempunyai

kepekaan yang tinggi terhadap perubahan temperatur. Kepekaan yang tinggi terhadap perubahan temperatur ini membuat thermistor sangat sesuai untuk pengukuran, pengontrolan dan kompensasi temperatur secara presisi [11]. Thermistor yang digunakan Mempunyai koefisien tahanan yang negatif. Namun, Kenyataannya hubungan perubahan tahanan temperatur ini adalah non linier, sehingga untuk keperluan pengukuran diperlukan teknik linierisasi dengan metoda rangkaian seri [12]. Linierisasi secara seri dapat menggunakan rangkaian pembagi tegangan sebagai rangkaian pengolah sinyal. Menggunakan supply sebesar 5V karena tegangan yang diharapkan sebesar 0-5V (tegangan input maksimum untuk diolah oleh Arduino Mega 2560) sebagai *output* yang dihasilkan oleh NTC.

2.6 Perancangan Monitoring Suhu 8 Heater

Perancangan Rangkaian Monitoring ini digunakan untuk memonitoring suhu dari 8 Heater yang digunakan untuk memanaskan *Bedplate pada wilayah Bedplate* R1,R2,R3,L1,L2,L3, dan L4. Untuk mendeteksi suhu pada Heater menggunakan 8 Sensor NTC 100 K Ω Yang dihubungkan ke ic 4051, ic ini bertindak sebagai ic *multiplexer* dimana ic ini terdapat 8 input analog untuk sensor NTC dan keluaranya hanya 1 *output* agar meminimalisir penggunaan pin analog pada *Arduino*. Rangkaian monitoring suhu seperti ditunjukkan pada gambar 4.

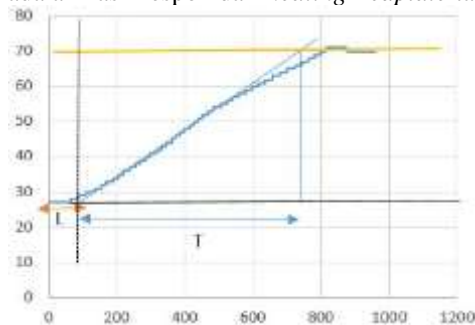


Gambar 4 . Rangkaian Monitoring Suhu 8 Heater

2.7 Metode Pengkondisi Suhu PID

Kontroler PID sebagai pengkondisi suhu memiliki dua parameter yang berpengaruh pada kinerja kontroler ini yaitu konstanta proporsional (K_p), konstanta Integral (K_i) dan konstanta *Derivative* (K_d) [13]. Oleh karena itu dilakukan *tunning* eksperimen untuk mendapatkan nilai K_p , K_i dan K_d yang tepat sehingga kontroler dapat bekerja secara optimal. Pada perancangan kontroler ini menggunakan *tunning Ziegler-Nichlos* metode kurva reaksi tanpa beban. Metode Ziegler-Nichols 1 adalah Metode open loop untuk penalaan kendali PID dengan memperoleh secara eksperimen tanggapan plant terhadap masukan unit-step [14,15].

Berikut pada gambar 9 adalah hasil respon dari *heating Bedplate* tanpa control (*open loop*):



Gambar 5. Grafik Respon Sistem Tanpa Kontrol

Dari gambar 9 grafik respon sistem didapatkan dua karakteristik konstanta yaitu waktu tunda (L) dan waktu konstanta (T). Waktu tunda dan waktu konstanta ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S , dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu (t) dan sumbu $c(t) = K$. Dari L dan T pada kurva S [16]. Dari gambar 9 didapatkan didapatkan nilai $L = 63$ second dan $T = 742$ second. Nilai - nilai tersebut kemudian dimasukkan pada rumus.

$$K_p = 1.2 \frac{T}{L} \quad (1)$$

$$T_i = 2L \quad (2)$$

$$T_d = 0,5 L \tag{3}$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \tag{4}$$

$$K_i = K_p \times T_d \tag{5}$$

Sehingga didapatkan nilai pada Tabel 1 berikut

Tabel 1. Hasil Nilai Kp, Ki, dan

Kp	Ti	Td	Ki	Kd
14,1	126	31,5	0,11	444,1

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengukuran Kinerja Driver Heater

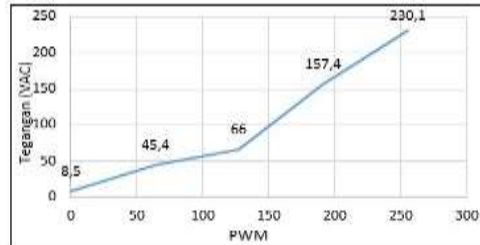
Pengukuran kinerja *Driver Heater* untuk mengetahui apakah nilai *Vout* dari tegangan masukan dapat diatur menggunakan pwm yaitu dengan mengubah nilai pwm dari mikrokontroler Arduino Mega 2560 mulai dari nilai PWM = 0% / 0, 25% / 64 50% / 127 75% / 191 sampai PWM 100% / 255 .

Hasil Pengukuran kinerja *driver* suhu, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengukuran Kinerja *Driver Heater*

PWM	VAC
0	8,5
64	45,4
127	66
191	157,4
255	230,1

Berdasarkan tabel Pengukuran kinerja *Driver Heater* dibuat grafik seperti ditunjukkan pada gambar 6



Gambar 6. Grafik PWM Terhadap *Output* Tegangan *Driver*

3.2 Pengukuran Kinerja Sensor Suhu NTC 100 kΩ

Pengukuran kinerja sensor suhu NTC 100 kΩ ini dilakukan untuk mengetahui suhu yang ada pada *plant* dengan suhu yang ada pada alat ukur. Pengukuran kinerja dilakukan dengan membandingkan suhu yang terbaca pada *Thermogun* dengan hasil yang didapatkan dari pembacaan sensor NTC 100 kΩ yang ditampilkan pada LCD. Pengukuran Kinerja Sensor Suhu seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Pengukuran Kinerja Sensor Suhu NTC 100 kΩ

No	Sensor NTC 100K (°C)	Thermogun (°C)	Error (%)
1	27 °C	27 °C	1,09 %
2	30 °C	29,5 °C	1,69%
3	35 °C	34,7 °C	0,86 %
4	40 °C	39,5 °C	1,26 %
5	45 °C	44,2 °C	0,18 %
6	50 °C	49,5 °C	1,8 %
7	55 °C	55,6 °C	1,07%
8	60 °C	59,2 °C	1,3 %
9	65 °C	64,6 °C	0,61%

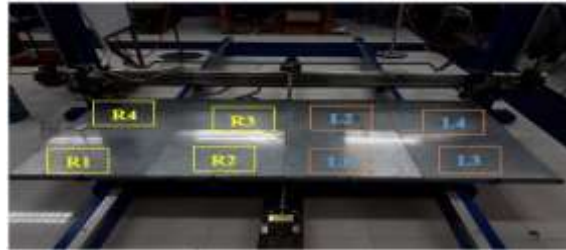
Berdasarkan data hasil pengukuran yang dilakukan untuk dibandingkan pembacaan sensor NTC 100 KΩ dengan alat ukur *thermogun* seperti pada tabel 3 dapat diketahui nilai *error* maksimal yaitu 1,69 % dan

nilai *error* minimalnya 0,18%. Nilai *error* pada pembacaan sensor NTC 100 kΩ masih dapat ditoleransi karena nilai *error* yang dihasilkan masih berkisar kurang dari 5%, sehingga nilai *error* yang didapatkan tidak terlalu mengganggu kinerja dari sistem pembacaan dari sensor suhu NTC 100 kΩ. Adapun perhitungan persentase nilai *error* yang didapatkan dari perbandingan pembacaan sensor NTC 100 kΩ dengan *thermogun* dapat dilihat pada persamaan 6.

$$Error (\%) = \frac{|Suhu Thermogun - Suhu NTC 100K|}{Suhu NTC 100K} \times 100\% \tag{6}$$

3.3 Pengukuran Kinerja Perbandingan Suhu Wilayah Heater

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui pemerataan panas pada *Bedplate*. Pengujian ini dilakukan dengan cara memanaskan *Bedplate* dari suhu 30°C sampai suhu 65°C kemudian dibandingkan *feedback* penempatan sensor untuk input PID yang diletakan pada wilayah *Bedplate* yang dipanaskan oleh *Heater R4* dengan wilayah *Bedplate* yang dipanaskan dengan *Heater R1,R2,R3,L1,L2,L3*, dan *L4* dengan suhu yang diambil melalui *Thermogun*. Gambar pembagian Wilayah *Bedplate* luas 2m² dengan 8 *Heater* sebagai pemanas *Bedplate* seperti ditunjukkan pada gambar 7.



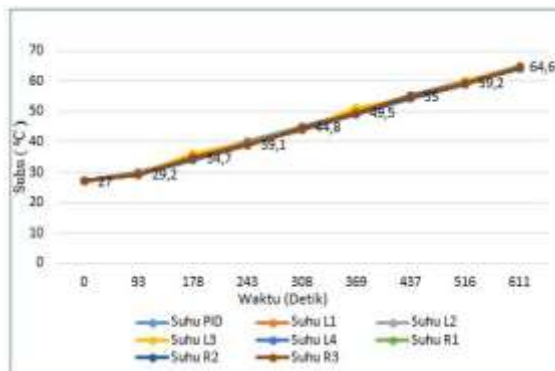
Gambar 7. Gambar Pembagian Wilayah *Bedplate*

Pengukuran perbandingan Suhu 8 wilayah *Bedplate* seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengukuran Perbandingan Suhu

Waktu (Detik)	Suhu (°C)							
	Suhu PID	Suhu L1	Suhu L2	Suhu L3	Suhu L4	Suhu R1	Suhu R2	Suhu R3
0	27	27	27	27	27	27	27	27
93	30	29,5	29,3	29,1	29,2	29,5	29,4	29,2
178	35	34,9	35,1	36	34,6	34,6	34	34,7
243	40	40	39,8	39,8	39,6	39,2	38,9	39,1
308	45	44	44,8	44	44,4	44,7	44,1	44,8
369	50	49,8	49,8	51	49,3	49,7	49,3	49,5
437	55	54,5	54,4	54,2	54,3	54,8	54,4	55
516	60	59,3	59,6	60,1	59	59,1	59,2	59,2
611	65	64,6	64,2	64,7	64,5	64,7	64	64,6

Berdasarkan tabel Pengukuran perbandingan suhu dibuat grafik seperti ditunjukkan pada gambar 8 .

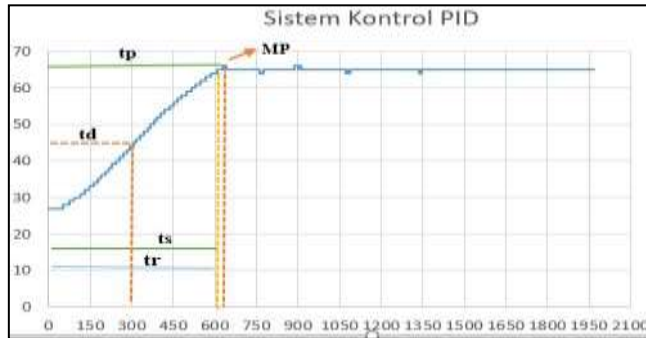


Gambar 8. Grafik Perbandingan Suhu 8 Wilayah *Heater Bedplate*

Setelah dibuat grafik, Suhu ke 7 wilayah *Bedplate* yaitu L1,L2,L3,L4,R1,R2,R3 mengalami kenaikan secara linier mengikuti suhu kenaikan wilayah *Bedplate* yang menjadi *feedback* PID yaitu wilayah R4 .

3.4 Pengukuran Kinerja Pengkondisi Suhu PID

Tujuan pengujian dari parameter dengan metode PID untuk memperoleh respon sistem suhu dengan memasukkan nilai $K_p= 14,1$ $K_i=0.11$ dan $K_d 444,1$ yang diperoleh dari perhitungan perencanaan metode PID pada persamaan (1) sampai (5). Pengukuran kinerja sistem PID menghasilkan grafik seperti ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik Kontrol Suhu dengan PID

Dari hasil pengujian sistem kontrol PID dengan suhu 65°C didapatkan grafik respon suhu menggunakan controller PID. Perhitungan respon sistem untuk grafik control suhu gambar 6 yaitu seperti berikut:

1. *Delay Time*(td) adalah waktu yang dibutuhkan oleh output untuk mencapai setengah harga akhir pada saat lonjakan pertama. Pada grafik respon diatas, nilai delay time yaitu sebesar 305 s.
2. *Rise Time* (tr) adalah waktu yang dibutuhkan oleh output untuk mencapai harga 0% sampai 100% dari harga akhir pada grafik tersebut, nilai rise time sebesar 611s.
3. *Peak time* (tp) adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai puncak lewatan pertama kali. Pada grafik respon diatas, nilai *peak time* yaitu sebesar 629s.
4. *Settling Time*(ts) adalah waktu yang dibutuhkan oleh output untuk mencapai harga tertentu dan tetap dalam range nilai akhir (5% atau 2%). Pada grafik tersebut, nilai settling time sebesar 611s.
5. (Persen) lewatan maksimum, Mp

$$\begin{aligned}
 M_p &= \frac{\text{nilai overshoot} - \text{nilai setpoint}}{\text{setpoint}} \times 100\% \quad (7) \\
 &= \frac{66 - 65}{65} \times 100\% \\
 &= 1,5\%
 \end{aligned}$$

Pada gambar 9 menunjukkan bahwa dengan kontroler *PID*, suhu *Heater* dapat terjaga dengan stabil dari *set point* yang di tentukan. Dalam pengujian yang dilakukan pada *setpoint* 65°C dapat di lihat bahwa sistem menghasilkan *overshoot* 1°C .

3.5 Pengujian Penempelan Biji *Filament* Pada *Bedplate*

Tabel 5. Hasil Pengujian Penempelan *Filament* Pada *Bedplate*

No	<i>Setpoint</i> suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Hasil Penempelan
1	50	
2	55	
3	65	

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan *setpoint* suhu *Bedplate* yang tepat untuk penempelan biji HDPE pada *Bedplate* dan menganalisa bisa atau tidaknya *filament* HDPE menempel pada *Bedplate*. Pengujian

ini dilakukan dengan cara menempelkan biji HDPE ke *Bedplate* dengan suhu percobaan 50, 55, dan 65 °C. untuk melihat hasil penempelan *filament* biji HDPE pada *Bedplate*.

Dari hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 5 pengujian dilakukan dengan nilai setpoint yang berbeda, yaitu 50°C, 55°C dan 65°C. Berdasarkan hasil pengujian suhu dengan nilai *set point* 65 °C berhasil membuat *filament* bahan HDPE menempel pada *Bedplate* tanpa mengalami penyusutan

4 KESIMPULAN

Pembacaan Sensor suhu NTC 100 K Ω dengan Thermogun menunjukkan bahwa pembacaan sensor suhu NTC100 K Ω dapat dikatakan baik karena memiliki nilai error kurang dari 5%, Error yang dihasilkan menunjukkan bahwa sensor suhu cukup akurat dan presisi sehingga mampu menampilkan kinerja yang stabil pada sistem. Pada proses pengontrolan suhu *Bedplate* dengan menggunakan metode PID menggunakan nilai $K_p=14,1$, $K_i=0,11$ dan $K_d = 444.4$ dengan hasil grafik respon sistem menunjukkan nilai delay time (td) 305s, rise time (tr)611s, settling time (ts) 611s, peak time 629s dan maksimal overshoot yang terjadi sebesar 1,5%. Proses Pemanasan *Bedplate* untuk bahan *filament* HDPE dapat menempel dengan set point suhu pada *Bedplate* sebesar 65 oC tanpa mengalami penyusutan pada hasil cetak. Untuk mendapatkan suhu 65 oC secara merata pada *Bedplate* seluas 2m2 dibutuhkan daya 8 x 677,8 watt dengan settling time selama 10 menit.

5 DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dede Sumantri, "Peningkatan Kinerja Mesin Rapid Prototyping Berbasis Fused Deposition Modelling," Jurnal Teknik Mesin Universitas Indonesia, 2012.
- [2] Kusuma, I.E., " Pengembangan Model Bisnis Berbasis Teknologi 3D Printer Dengan Pendekatan Product Service System (PSS), Tesis, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2016.
- [3] A K.-D. Chu, A. Lacaze, K. Murphy, E. Mottern, K. Corley, and J. Frelk, "3D Printed Rapid Disaster Response," *IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST)*, pp. 1-6, April 2015.
- [4] Kukul Priambodo, "Desain Sistem Kontrol Suhu *Bedplate* Menggunakan *Kontroler* PID Pada *Printer* 3D Berbasis Arduino Uno," Jurnal Teknik Elektro Universitas brawijaya, 2019.
- [5] Harper, *Handbook of Plastic and Elastomer*. Westing House Electric Corporation. Baltimore. Maryland, 1975
- [6] Christian B, Matthew D, and Joshua M. Pearce, " Distributed Recycling of Waste Polymer into RepRap Feedstock, *Rapid Prototyping Journal*, 19(2), pp. 118-125, 2013.
- [7] *Additive Manufacturing with High Density Polyethylene: Mechanical Properties Evaluation* Calvin Wampol South Dakota State Universit
- [8] Haruna Hamond, " Suitability of recycled HDPE for 3D printing filament, "Thesis Master, *Plastics Technology. Final Tesis, Arcada University of Applied Science, Finlandia*, 2014.
- [9] Okky Janriizky , Andy Pangabea, " Sistem Pengaturan suhu air menggunakan Kendali PID ".Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri batam, 2010.
- [10] SS Munifah, " *Design of temperature measuring instrument using NTC thermistor of Fe2 TiO5 based on microcontroller ATmega 328,* " , *Physics Department, Faculty of Mathematics and Science Education, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung West Java, Indonesia* ,2019.
- [11] Umbu Kaleka, M. Bili, " *Thermistor Sebagai Sensor Suhu,* " Artikel Pendidikan Fisika Universitas Flores, Nusa Tenggara Timur, 1, 2019. tersedia : <http://e-journal.uniflor.ac.id/index.php/optika/article/view/125> [Diakses 28 Juli 2020]
- [12] Budi Mursanto, " Analisis Pengkondisian Sinyal Untuk Sensor Thermistor Studi Kasus Linierisasi Secara Seri," Jurnal Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung, 2014.
- [13] Ogata Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik*. Jakarta. Penerbit Airlangga, 1985.
- [14] Suryatini, Fitria, Firasanti, Annisa, "Kendali P, PI, dan PID Analog Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC Dengan Penalaan Ziegler – Nichols," *JERC (Journal of Electrical and Electronics)*, 2018.
- [15] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, Fifth ed. New Jersey:
- [16] Prentice Hall, 2010. Jamal, Zaidir, "Impelementasi Kendali PID Penalaan Ziegler- Nichols Menggunakan Mikrokontroler," *Jurnal Informatika*. Vol. 15. No. 1. 2015. Informatics and Business Institute Darmajaya, 2015.