

Kontrol Suhu Extruder Menggunakan Metode *Feeding* Biji Plastik HDPE Pada 3D Printer Simetris Bilateral

Gisela Ririh¹, Budhy Setiawan², Indrazno Siradjuddin³

[Submission: 05-05-2021, Accepted: 28-05-2021]

Abstract— 3D printers are starting to be used in the Indonesian industry, using 3D printers making prototypes that usually take a long time can be made in a short time. The famous and inexpensive 3D Printing known as Fused Deposition Modelling (FDM), the working principle of FDM constructing thermoplastics through a hot nozzle at melting temperatures further shaped a product by printing layer by layer. In this thesis study hdpe plastic seed material melted at a temperature of 200°C. To produce good filament quality, melt temperature is precisely controlled using PID. Based on pid test results get maximum overshoot of 1% or temperature value of 202°C. With $K_p=18.96$, $K_i=1.896$ and $K_d = 47.4$ with system response chart results showing delay time (td) value 62s, rise time (tr) 175s, settling time (ts) 275s, peak time 188s and maximum overshoot occurring at 1%. Testing the results of the outgoing filaments obtained the best temperature for the plastic seed melting process of 200°C with a smooth and shiny texture.

Keywords – 3D printers, HDPE, Extruder, PID

Intisari— Printer 3D mulai digunakan di dunia industri Indonesia, dengan menggunakan 3D printer pembuatan objek dapat dibuat dalam waktu singkat. 3D Printing yang terkenal dan murah dikenal *Fused Deposition Modelling* (FDM), prinsip kerja FDM mengekstrusi termoplastik melalui nozzle panas pada *melting* temperatur selanjutnya dibentuk suatu produk dengan mencetak lapis per lapis. Pada penelitian skripsi ini bahan biji plastik HDPE meleleh pada suhu 200°C. Untuk menghasilkan kualitas filamen yang baik, suhu leleh dikontrol dengan tepat menggunakan PID. Berdasarkan hasil pengujian PID didapatkan *maximum overshoot* sebesar 1% atau nilai suhu 202°C. Dengan $K_p=18.96$, $K_i=1.896$ dan $K_d = 47.4$ dengan hasil grafik respon sistem menunjukkan nilai *delay time* (td) 62s, *rise time* (tr) 175s, *settling time* (ts) 275s, *peak time* 188s dan maksimal *overshoot* yang terjadi sebesar 1%. Pengujian hasil filamen yang keluar didapatkan suhu terbaik untuk proses pelelehan biji plastik sebesar 200°C dengan tekstur halus dan

I. PENDAHULUAN

Printer 3D mulai digemari 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 sejak tahun 1980. 3D printer dapat menghemat banyak waktu dalam mengembangkan dan membuat produk baru.

Teknologi baru dari 3D printing dapat mencetak komponen yang rumit dan proses produksi yang singkat dan sederhana. Selain itu 3D printing memiliki beragam pilihan bahan baku dan dapat didaur ulang kembali, seperti menggunakan biji plastik HDPE. Hal ini menjadikan teknologi 3D printing mulai banyak digunakan dan menjadi tren saat ini. Teknologi ini digunakan secara luas dalam berbagai bidang, seperti memproduksi prototype komponen mekanik secara cepat dari gambar software 3D[1].

Pembuatan sebuah prototype dengan menggunakan sebuah mesin printer 3D diawali dengan membuat sebuah desainnya terlebih dahulu dengan menggunakan software desain seperti solidwork. Kemudian hasil desain tersebut di *convert* kedalam *G-Code* menggunakan Simplify3D, yang nantinya *G-Code* akan dibaca oleh Mikrokontroler dan akan di manipulasi disetiap portnya seperti bagian extruder dan motor stepper menggunakan OS Marlin. Extruder seperti ini biasanya terdiri dari pipa yang memiliki zona suhu dengan memberikan *heater* di bagian *melting heating*. Fungsi suhu tersebut adalah mengatur kadar lelehan biji plastik. Agar polimer HDPE dapat terkontrol kadar kelelehannya diperlukan suhu minimal 180°C - 200°C pada heater. Terdapat *hopper* atau *inlet* sebagai masukan biji plastik dan nozzle sebagai keluaran lelehan. Polimer dimasukkan ke *barrel* (pipa) dalam bentuk partikel mentah dan padat dari *hopper* dan didorong ke depan oleh sekrup yang kuat melalui berbagai zona suhu yang diatur, polimer mentah secara bertahap dipanaskan. Panasnya diproduksi oleh pemanas di *barrel*, bersama-sama dengan

¹Gisela Ririh adalah Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang email: giselaririh12@gmail.com

²Budhy Setiawan adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang email: budhy.setiawan@polinema.ac.id

³Indrazno Siradjuddin adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang email: indrazno@polinema.ac.id



panas dilepaskan dari gesekan antara polimer mentah dan permukaan *barrel* dan sekrup, menyebabkan mencairnya polimer atau biji plastik, kemudian didorong oleh sekrup keluar dari nozzle, diproses untuk berbagai keperluan. Secara umum, kualitas ekstruder tergantung pada keseragaman distribusi temperatur, besarnya suhu dalam barrel, tekanan screw atau ulir dan homogenitas pencampuran fisik. Untuk menghasilkan kualitas ekstruder yang baik, suhu di masing-masing zona suhu harus dikontrol dengan tepat[2].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Biji Plastik HDPE

HDPE (*High Density Polyethylene*) HDPE merupakan polietilena dengan jumlah rantai cabang yang lebih sedikit dibandingkan dengan PE (*Polyethylene*). Rantai cabang yang lebih sedikit ini membuat plastik HDPE memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, buram dan lebih tahan terhadap suhu tinggi. Ikatan hidrogen antar molekul yang berada pada plastik ini juga berperan dalam menentukan titik leleh plastik (Harper, 1975)[3]. HDPE memiliki titik leleh yang cukup tinggi, oleh karena sifatnya ini HDPE sering digunakan pada kemasan untuk botol susu, tupperware, galon air minum, kursi lipat, kemasan deterjen, dan kemasan susu

B. Sensor Suhu Thermistor NTC 100K

NTC (*Negative Thermal Coeffisien*) Thermistor atau tahanan thermal adalah komponen semikonduktor yang memiliki karakter sebagai tahanan dengan koefisien tahanan temperatur yang tinggi, yang biasanya negatif. Umumnya tahanan termistor pada temperatur ruang dapat berkurang 6% untuk setiap kenaikan temperatur sebesar 1°C. Kepekaan yang tinggi terhadap perubahan temperatur ini membuat thermistor sangat sesuai untuk pengukuran, pengontrolan dan kompensasi temperatur secara presisi[4].

C. Heater Rod (Pemanas Nozzle)

Heater Nozzle adalah satu komponen printer tiga dimensi (3D) yang berfungsi untuk melelehkan filament agar dapat memudahkan membentuk suatu produk atau objek, Heater Nozzle bekerja dengan cara mengerol filament yang masih berbentuk padat dan pada saat pengerolan maka suhu pada heater nozzle akan meningkat dan akhirnya akan melelehkan filament yang padat. *Electrical heating element* (Elemen pemanas) merupakan material yang akan mengalami peningkatan suhu dari rendah ke tinggi dengan memberikan aliran listrik padanya. Material yang sering digunakan pada umumnya seperti jenis berbahan kawat ataupun berbahan keramik dengan ketahanan listrik tinggi (*Resistance Wire*). kawat nichrome/niklin yang dibentuk menyerupai spiral [5].

D. Metode Tuning Ziegler-Nichols 1

Metode *Tuning Ziegler Nichols 1* atau sering disebut metode kurva reaksi yaitu respon plant dari metode ini dapat diperoleh secara eksperimental dengan masukan berupa unit step, sehingga menghasilkan kurva S seperti pada gambar 1 dan 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, *Ziegler-Nichols* menyarankan untuk mencari nilai Kp, Ki, dan Kd berdasarkan formula pada Tabel 1[6].

TABEL 1
 ATURAN ZIEGLER-NICHOLS 1 [6]

Tipe Kontrol	Kp	Ti	Td
P	T/L	∞	0
PI	$0.9 \times T/L$	$0.3/L$	0
PID	$1.2 \times T/L$	$2 \times L$	$0.5 \times L$

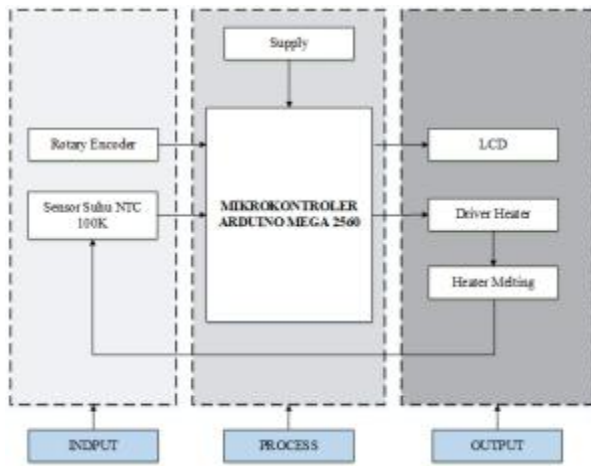


Gambar 1 : Kurva berbentuk S[7]

III. METODE PENELITIAN

A. Diagram Blok Sistem





Gambar 2 : Diagram Blok Sistem

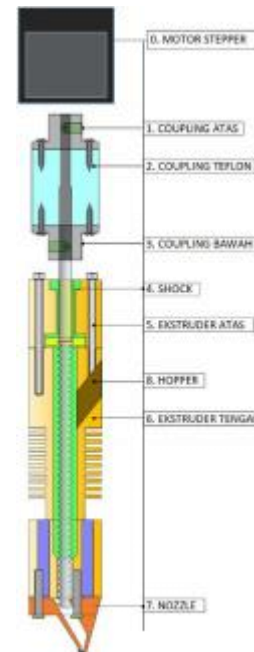
Penjelasan fungsi dari masing-masing diagram blok pada Gambar 2 adalah sebagai berikut :

- Supply digunakan untuk memberikan sumber tegangan kepada setiap komponen atau rangkaian elektrik.
- Sensor Suhu NTC 100K digunakan untuk mengukur suhu dan *feedback* pada heater kontrol ekstruder.
- Mikrokontroler Arduino Mega 2560 berfungsi sebagai *controller* dengan sistem kerja rangkaian melalui software yang dapat diprogram. Metode yang digunakan adalah PID.
- Driver Heater digunakan untuk mengatur heater melalui arduino mega yang memberikan sinyal low (0) dan high (1) dan sudah diatur dalam program. Berfungsi untuk memicu titik kerja dari *heater* saat nilai *set point* dimasukkan.
- Pemanas (*Heater*) berfungsi sebagai media melelehkan biji plastik sampai menjadi bentuk filament.
- LCD berfungsi untuk menampilkan data yang telah diproses mikrokontroler. LCD pada sistem ini juga berfungsi menampilkan hasil pembacaan suhu pada *melting heater*, nilai *set point*.
- Rotary Encoder berfungsi sebagai mengatur nilai *set point* yang diinginkan

B. Perancangan dan Pembuatan Mekanik

Pada ekstruder alat terdiri dari *inlet* atau *hopper* yang digunakan sebagai jalur untuk biji plastik. Pada bagian *barrel* ekstruder terdapat 3 bagian yaitu : ekstruder atas, ekstruder tengah dan nozzle. Pada ekstruder atas digunakan sebagai letak *ball bearing* dan *thrust bearing* untuk mengatur putaran pada as ulir. Sedangkan ekstruder tengah terdapat *chamber*

dengan diameter 12 mm dan diameter 8 mm. Pada *chamber* 8 mm atau bagian *melting heating* dikelilingi oleh 6 pemanas, pemanas yang digunakan berupa heater nozzle berbahan nikelin yang dilapisi dengan jaket alumunium agar tidak mengalami pelenturan saat perambatan panas serta diberi lubang untuk letak sensor suhu NTC. Terakhir terdapat bagian nozzle yang digunakan sebagai tempat untuk mencetak filament dengan lubang berdiameter 2 mm.

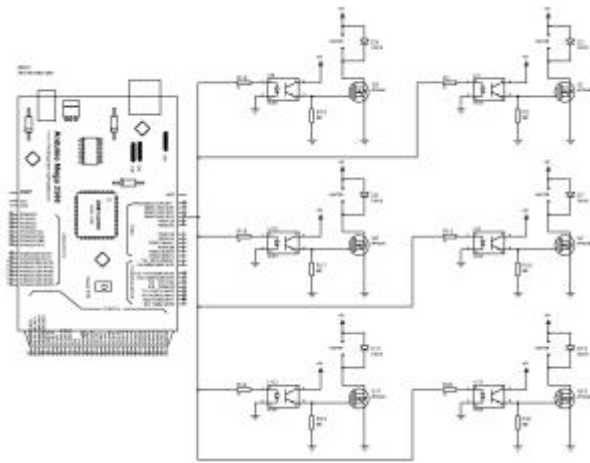


Gambar 3 : Desain Mekanik Ekstruder

C. Perancangan Rangkaian Driver Heater

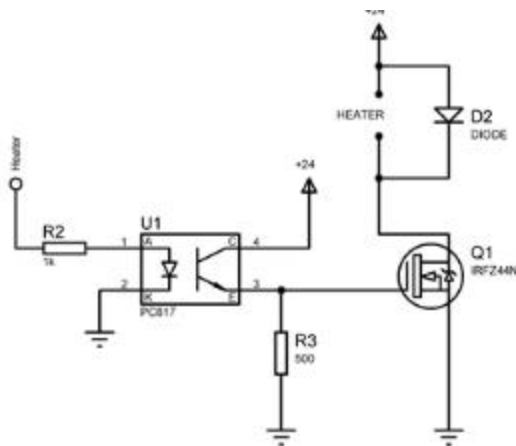
Driver DC ini merupakan rangkaian untuk kontrol pemanas yang berfungsi untuk mengendalikan temperatur dari heater yang digunakan sebagai melelehkan biji plastik HDPE menjadi sebuah *filament* pada *barrel* ekstruder atau proses *melting heating*.





Gambar 4 : Rangkaian Driver Heater

Gambar 4 merupakan rangkaian *driver heater* untuk 1 extruder. Setiap *driver heater* mengontrol 6 heater DC. Rangkaian *heater* DC ini berfungsi untuk kontrol pemanas yang mengendalikan temperatur dari *heater* yang digunakan sebagai mencetak *filament*. Ketika suhu melebihi nilai set point, maka kontrol suhu akan menurunkan daya *heater* dengan mengatur sudut picu penyalan rangkaian pengontrol suhu. Kontrol ini diatur melalui pin pada mikrokontroller Arduino Mega 2560 yang nanti setiap driver akan dipararel dan akan mengatur penyalan heater. Untuk memicu penyalan heater bisa dibuat beberapa cara dan salah satunya adalah memakai rangkaian beban DC untuk mengatur sudut penyalan dari sumber tegangan DC 24V. Berikut detail rangkaian drivernya :



Gambar 5 : Rangkaian Driver Heater

Pada gambar 5. Dapat dilihat rangkaian driver heater sesuai datasheet optocoupler PC817 dengan memanfaatkan masukan arus 5mA untuk menyalakan LED PC817 (sesuai datasheet), selanjutnya LED akan mengaktifkan phototransistor yang kemudian memicu Mosfet IRFZ44N

yang berfungsi sebagai saklar elektronik yang dapat melewati arus DC. Keluaran optocoupler berhubungan langsung dengan sumber tegangan DC pada beban yang akan dikendalikan, akibatnya IRFZ44N akan memicu *heater* dan mengalir arus listrik.

Agar *Heater* dapat diatur menggunakan PWM dan sesuai dengan nilai set point 200°C, maka diperlukan perancangan dan perangkaian elektrik driver yang tepat. Perancangan elektrik menggunakan beberapa komponen seperti *optoisolator* atau *optocoupler* dan Mosfet DC IRFZ44N. IRFZ44N dapat melakukan *switching* dengan cepat dibandingkan dengan transistor. Untuk membatasi arus yang masuk ke dalam optocoupler, maka dibutuhkan resistor dengan nilai tahanan (R_{in}) yang tepat dengan menggunakan persamaan (1) berikut :

Dimana :

$$V_{mikro} = 5V$$

$$V_f = 1,2 V \text{ (sesuai datasheet IRFZ44N)}$$

$$I_{ft} = 5 \text{ mA (sesuai datasheet Optocoupler PC817)}$$

$$V = I \times R \quad (1)$$

$$R = \frac{V}{I} \quad (2)$$

$$R1_{max} = \frac{V_{cc} - V_{tys}}{I_{fmin}} \quad (3)$$

$$R1 = \frac{5V - 1.2V}{5mA}$$

$$R1 = \frac{3.8V}{0.005A}$$

$R1 = 760 \Omega$ (menggunakan 1000 Ω , karena sesuai dengan standarisasi resistor E22)

Dari persamaan (2) diturunkan menjadi persamaan (3) untuk mendapatkan resistansi maksimum. Sedangkan untuk nilai $R2$ pada persamaan (4) didapat dari perhitungan pembagian antara V_{supply} yaitu 24V dengan $I_c \text{ max}$ 50mA memperoleh 480 Ω .

$$R2 = \frac{V_s}{I_c \text{ max}} \quad (4)$$

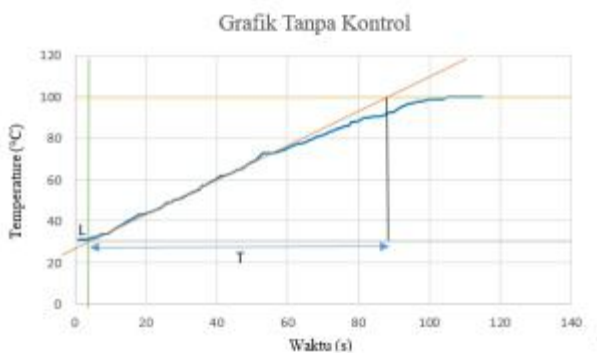


$R2 = \frac{24}{50} = 480 \Omega$ (menggunakan 500 Ω , karena sesuai dengan standarisasi resistor E22).

D. Perencanaan Sistem

Kontroler PID memiliki dua parameter yang berpengaruh pada kinerja kontroler ini yaitu konstanta proporsional (K_p), konstanta Integral (K_i) dan konstanta *Derivative*. 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 HDPE.

Berikut pada gambar 6 adalah hasil respon dari *melting heater* ekstruder tanpa control (*open loop*):



Gambar 6 : Grafik Respon Sistem Tanpa Kontrol

Dari gambar 6 grafik respon sistem, dapat diketahui respon *plant* berupa kurva S menggunakan 6 unit heater rod, sehingga dalam perancangan metode Ziegler Nichlos I. Diperlukan langkah-langkah mencari nilai L (*dead time*) dan T (*waktu tunda*) dari grafik respon sistem, maka didapatkan nilai $L = 5 \text{ second}$ dan $T = 79 \text{ second}$. Nilai - nilai tersebut kemudian dimasukkan pada rumus,

Diketahui :

$L = 5 \text{ second}$

$T = 79 \text{ second}$

Sehingga didapatkan persamaan :

- Mencari nilai K_p

$$K_p = 1.2 \frac{T}{L} = 1.2 \frac{79}{5} = (1.2) \times (15.8) = 18.96 \quad (5)$$

- Mencari nilai T_i

$$T_i = 2L = 2 \times 5 = 10 \quad (6)$$

- Mencari nilai T_d

$$T_d = 0.5 L = (0.5) \times (5) = 2.5 \quad (7)$$

- Mencari nilai K_i

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{18.96}{10} = 1.896 \quad (8)$$

- Mencari nilai K_d

$$K_d = K_p \times T_d = (18.96) \times (2.5) = 47.4 \quad (9)$$

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor NTC 100K

Pengambilan data dengan membandingkan pembacaan suhu pada sensor NTC 100K dan Thermogun yang ditempatkan pada suhu *melting heating*. Hasil data dapat dilihat pada tabel 2.

TABEL II
HASIL PEMBACAAN SENSOR NTC 100K

No	Sensor NTC 100k (°C)	Thermo Gun (°C)	Resistansi (K Ohm)	Error (%)
1	27 °C	27.7 °C	82.13	1.09 %
2	30 °C	30.4 °C	69.9	2.9 %
3	40 °C	40.2 °C	44.5	0.4 %
4	50 °C	50.1 °C	33.4	0.20 %
5	60 °C	60.9 °C	22.8	1.48 %
6	70 °C	70.1 °C	16.23	0.14 %
7	80 °C	80.4 °C	11.41	0.50 %
8	90 °C	90.3 °C	8.51	0.33 %
9	100 °C	100.1 °C	5.81	0.10 %
10	110 °C	110.1 °C	4.35	0.09 %
11	120 °C	120.9 °C	3.24	0.74 %
12	130 °C	130 °C	2.54	-
13	140 °C	140 °C	1.870	-
14	150 °C	150.1 °C	1.47	0.07 %
15	160 °C	160.3 °C	1.16	0.19 %
16	170 °C	170.3 °C	0.928	0.18 %
17	180 °C	180.9 °C	0.750	0.50 %
18	190 °C	190.4 °C	0.618	0.21 %
19	200 °C	200.7 °C	0.505	0.35 %
Error rata-rata (%)				0.49%



Dari data hasil pengujian yang dilakukan untuk membandingkan pembacaan sensor NTC 100K dengan alat ukur *thermogun* pada tabel 2, dapat diketahui nilai *error* dengan persamaan (11) maksimal yaitu 2.9% dan nilai *error* minimalnya 0.07%.

$$Error (\%) = \frac{Suhu\ Thermogun - Suhu\ NTC\ 100K}{Suhu\ NTC\ 100K} \times 100\% \quad (10)$$

Selain itu, nilai *error* rata-rata yang dihasilkan juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (12).

$$Error\ rata-rata\ (\%) = \frac{\sum Error\ Suhu}{\sum Data\ Pengujian} \times 100\% \quad (11)$$

Nilai *error* pada pembacaan sensor NTC100K 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 NTC100K.

B. Pengujian Driver Heater

Pada pengujian rangkaian *driver heater* dengan tegangan 24Volt DC dan daya 300 watt, pengujian ini dilakukan dengan cara mengubah nilai PWM dari mikrokontroler Arduino Mega mulai dari nilai PWM = 0 sampai PWM = 255. Pengaturan PWM tidak dilakukan dari program *marlin* melainkan menggunakan program kontrol pada arduino dengan rangkaian *open loop*. Sedangkan untuk melihat tegangan output dari arduino pengaturan menggunakan program *marlin*. *Heater* diberi tegangan sebesar 24 VDC dan arus 40 Ampere dari *power supply*. Berikut tabel hasil pengujian dengan merubah nilai PWM terhadap tegangan output pada *driver heater*,

TABEL III
 HASIL PENGUJIAN DRIVER HEATER

PWM	Tegangan Output DCavg
0	0 V
10	2 V
50	5.5 V
100	11.2 V
150	13.5 V

200	20.2 V
250	23.9 V
255	24 V

Berdasarkan hasil pengujian dengan melakukan pengukuran pada tegangan beban, dapat diketahui bahwa semakin kecil nilai *delay_ms* yang diberikan pada mosfet *IRFZ44N*, maka *heater* akan bekerja secara maksimal. Hal tersebut dikarenakan tegangan yang diterima *IRFZ44N* akan menghasilkan daya yang berbeda – beda sesuai dengan presentase yang dihasilkan dari *output* PID. Dari tabel 3 diperoleh grafik seperti gambar 7,



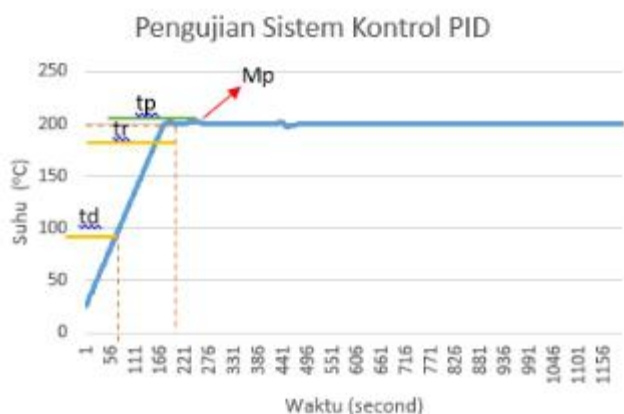
Gambar 7 : Grafik Linear PWM tegangan *driver heater*

Diketahui bahwa dari percobaan diatas tegangan output driver mengalami kenaikan secara linier sesuai dengan kenaikan nilai PWM yang diberikan.

C. Pengujian PID Ziegler-Nichlos 1

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sistem secara keseluruhan, apakah kontrol dapat bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian dilakukan dengan cara memberi masukan (*input*) melalui *rotary encoder* berupa nilai *set point* untuk menghasilkan suhu yang stabil pada *heater* serta digunakan sebagai pemanasan biji plastik dalam extruder. Suhu yang digunakan dalam pengujian PID ini adalah 200°C. Pada pengujian ini dilakukan dengan nilai $K_p = 18.96$, $K_i = 1.896$ dan $K_d = 47.4$. Pengujian ini diperoleh data berupa grafik yang terbaik seperti gambar 8.





Gambar 8 : Grafik Pengujian Kontrol PID Pada Suhu 200°C

Dari grafik respon sistem pada gambar 8, diperoleh karakteristik respon sistem yang ditunjukkan pada tabel 4 berikut:

TABEL IV
 PERFORMA RESPON SISTEM MENGGUNAKAN KONTROLER PID

No.	Performa Respon Kurva	Hasil
1	Delay time	62 s
2	Rise time	175 s
3	Peak Time	188 s
4	Settling time	275 s
5	Max overshoot (Mp)	1%

Pada analisa hasil pengujian sistem ini, berdasarkan grafik dalam percobaan Gambar 8 menunjukkan bahwa dengan kontroler PID, suhu heater dapat terjaga dengan stabil dari set point yang di tentukan. Dalam pengujian yang dilakukan pada set point 200°C dapat di lihat bahwa sistem menghasilkan overshoot 202°C dan menghasilkan grafik respon sistem dengan suhu yang stabil, diperoleh rise time yang cepat selama 175s atau 3 menit menuju set point dengan nilai prosentase overshoot yang kecil atau kurang dari 1%.

D. Pengambilan Data Proses Sistem Keseluruhan

Setelah menguji perblok sistem telah sesuai dengan diagram blok sistem, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian keseluruhan sistem dalam proses pembuatan filament, yaitu pengujian suhu pada proses ekstruder plastik khususnya di molding. Pengujian ini menentukan set point suhu yang tepat untuk peleburan biji plastik antara range 180°C sampai dengan suhu 200°C.



Gambar 9 : Bentuk fisik filament

Pada gambar 9, bentuk fisik filament dari hasil penelitian. Mendapatkan analisa yaitu hasil dari peleburan biji plastik pada melting heater dengan suhu 200°C memiliki warna biru tua dengan tekstur yang halus dan mengkilap. Dengan suhu 200°C untuk mencapai hasil filament yang baik membutuhkan waktu 20 menit.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengujian dan analisa pada pengontrolan suhu ekstruder menggunakan metode PID, maka dapat dibuat beberapa kesimpulan :

1. Pembacaan Sensor suhu NTC100K dengan thermogun menunjukkan bahwa pembacaan sensor suhu NTC100K dapat dikatakan baik karena memiliki rata rata error 0.49%. Error yang dihasilkan menunjukkan bahwa sensor suhu cukup akurat dan presisi sehingga mampu menampilkan kinerja yang stabil pada sistem.
2. Pada proses pengontrolan suhu lelehan ekstruder dengan menggunakan metode PID menggunakan nilai $K_p=18.96$, $K_i=1.896$ dan $K_d = 47.4$ dengan hasil grafik respon sistem menunjukkan nilai delay time (td) 62s, rise time (tr) 175s, settling time (ts) 175s, peak time 188s dan maksimal overshoot yang terjadi sebesar 1%.
3. Proses pelelehan biji plastik HDPE dapat menghasilkan filament yang kuat dengan warna yang mengkilat dan halus dibanding yang lain dengan suhu optimal set point 200°C.

B. Saran

Dalam penelitian ini perlu langkah-langkah untuk diperbaiki dimana :

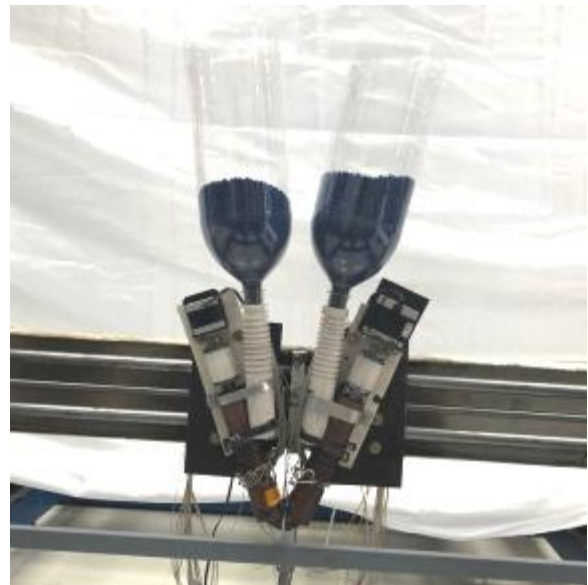
1. Mekanik perlu diperbaiki pada ulir , lubang pada hopper ekstruder diperbesar.



2. Meminimalisir terjadinya *clogging* atau pembekuan pada *inlet* dengan memanaskan heater *melting* sebesar 40% dari nilai *set point* agar sisa-sisa lelehan biji plastik tidak mengendap dan dapat keluar melalui lubang *nozzle*.
3. Perlu diberi kipas dengan arus yang tinggi pada *hopper*.

REFERENSI

- [1] 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.
- [2] CHI-HUANG LU, T. CHING-CHIH, "Multivariable Self-Tuning Temperature Control for Plastic Injection Molding Process", *IEEE Journal*, 2000
- [3] K. Rizki Hanani, Alila Damayanti (2015). "Kajian Pirolisis Plastik Low Density Polyethylene Dan Poly Propilene sebagai Bahan Bakar". Thesis Teknik Lingkungan ITS, Surabaya.
- [4] Umbu Kaleka, M. Bili. (2019). Thermistor Sebagai Sensor Suhu. Artikel Pendidikan Fisika Universitas Flores, Nusa Tenggara Timur,1(4).
- [5] Sulayman, Donny. (2015). Pengaruh Suhu dari Heater Nozzle Terhadap Produk Printer 3D. Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- [6] Suryatini, Fitria; Firasanti, Annisa. (2018). Kendali P, PI, danPID Analog Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC Dengan Penalaan Ziegler – Nichols. *JERC (Journal of Electrical and Electronics)*,6(1).
- [7] Katsuhiko, Ogata. 1997. *Modern Control Engineering Third Edition*. University Of Minnesota.



Gambar 9 : Foto Double Ekstruder

LAMPIRAN

