

Pengatur Suhu Hopper dan Debit Extruder Pada 3D Printing Simetris Bilateral

M. Agung Cahya Diyanto¹, Budhy Setiawan², Sidik Nurcahyo³

[Submission: 27-10-2021, Accepted: 20-12-2021]

Abstract— A 3D printer is a tool to create objects from 3D images in software. 3D Printing which uses plastic materials and the FDM (Fused Deposition Modeling) method, in the process is melt the plastic and accumulate becomes an object according to the design. During the process, the melting temperature occurs at 200°C, this causes heat propagation and rises in the hopper, the hopper temperature to be stable at 90 – 110°C, because the plastic seeds in the hopper section must be in the form of seeds and still solid, so that the melted seeds will not rise and exit through the hopper hole. The heating process used in the melting heater section at a temperature of 200°C uses a heater with a power of 300W totaling 6 which is placed in a circle. While the controller used in the hopper uses the ON and OFF methods, at the hopper temperature state 110°C the fan will be ON and at the hopper temperature state 90°C the fan will be OFF. Melt length that comes out of the extruder corresponds to the setpoint on the pronterface, setpoint 100 mm/min melt output 100.74 mm/min, setpoint 200mm/min melt output 171.2 mm/min, input 300mm/min melt output 234 mm/min.

Keyword— Discharge, Extruder, Hopper, Melting

Intisari— Printer 3D adalah sebuah alat yang digunakan untuk pembuatan objek dari Gambar 3D pada sebuah *software*. 3D Printing yang menggunakan bahan plastik dan metode FDM (*Fused Deposition Modelling*), proses dalam pencetakan dengan melelehkan plastik dan menumpuk lelehan sehingga menjadi benda yang sesuai dengan desain. Pada saat proses pencetakan terjadi suhu pada bagian *melting* 200°C, hal ini menyebabkan adanya perambatan panas dan naik pada bagian *hopper*, diharuskan suhu *hopper* stabil pada 90 – 110°C, karena biji plastik pada bagian *hopper* harus berbentuk biji dan masih *solid*, sehingga lelehan biji tidak akan naik dan keluar melalui lubang *hopper*. Proses pemanasan yang digunakan pada bagian *melting* heater pada suhu 200°C menggunakan *heater* dengan daya 300W berjumlah 6 yang ditempatkan secara melingkar. Sedangkan pengontrol yang digunakan pada bagian *hopper* menggunakan metode ON dan OFF, pada keadaan suhu *hopper* $\geq 110^\circ\text{C}$ kipas akan ON dan pada keadaan suhu *hopper* $\leq 90^\circ\text{C}$ kipas akan OFF. Panjang lelehan yang keluar pada ekstruder telah sesuai dengan set point pada pronterface, set point 100 mm/min output

lelehan 100.74 mm/min, set point 200mm/min output lelehan 171.2 mm/min, input 300mm/min output lelehan 234 mm/min.

Kata Kunci— HDPE, 3D Printing, Extruder, PID

I. PENDAHULUAN

Sebuah teknologi yang ramai digunakan pada dunia industri pada beberapa tahun terakhir ini adalah 3D Printer. 3D *Printing* adalah sebuah mesin cetak yang dapat membuat sebuah objek nyata dari desain gambar 3D dalam sebuah *software* CAD, desain disimpan dalam format .STL dan dikirim ke dalam control mesin 3D *Printing* dengan melalui sd card [1]. Alasan mengapa 3D *printing* digunakan pada kebanyakan industri karena dapat menghemat biaya, bahan, sumber daya manusia, dan waktu apabila dibandingkan dengan pembuatan *prototype* secara konvensional [2].

Dari segi material 3D printing, saat ini umumnya yang digunakan adalah plastik, salah satu material dari plastik yang dipilih adalah biji plastik HDPE, biji plastik HDPE adalah jenis bahan yang sering digunakan pada *feeding* 3D *Printer* [3]. Bahan plastik dengan jenis HDPE memiliki titik lebur atau titik leleh pada rentan suhu 110°C-135°C [4]. Untuk mengeluarkan biji plastik yang telah meleleh dibutuhkan sebuah alat yaitu ekstruder, sedangkan untuk mendorong lelehan biji plastik turun dibutuhkan sebuah ulir.

Bagian untuk melelehkan biji plastik pada ekstruder adalah *melting*, sedangkan untuk menjaga agar panas tidak naik dengan cepat dari nozzle ke badan ekstruder dengan nozzle adalah *heatsink*, dan bagian untuk memasukkan biji plastik adalah hopper. Untuk mendorong lelehan biji plastik keluar menggunakan motor stepper dan ulir.

Karya ilmiah ini membahas tentang kontrol suhu menggunakan kipas DC yang ditempatkan pada bagian hopper. Selain itu diperlukan perubahan dari beberapa bagian ekstruder [5], diantaranya adalah panjang *melting heater* diperkecil, penambahan banyaknya sirip pada *heatsink*, dan

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195

¹Program Studi D-IV Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, Jln. Soekarno Hatta no. 9 Malang, Jawa Timur, 65141, Indonesia; e-mail: agungcahya122@gmail.com

^{2,3} Program Studi D-IV Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, Jln. Soekarno Hatta no. 9 Malang, Jawa Timur, 65141, Indonesia; e-mail: budhy.setiawan@polinema.ac.id, sidik.nurcahyo@polinema.ac.id



perubahan bentuk ulir agar memiliki tekanan yang besar. Sehingga dengan adanya penelitian ini diharapkan agar biji plastik tidak meleleh terlebih dahulu karena rambatan panas yang naik dari bagian melting menuju bagian hopper, dan debit lelehan biji plastik yang keluar melalui nozzle dapat stabil.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Biji Plastik HDPE

HDPE (*High Density Polyethylene*) termasuk polietilena dengan jumlah rantai cabang yang lebih sedikit dibandingkan dengan PE (*Polyethylene*). Dengan adanya rantai cabang yang lebih sedikit HDPE memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, dan lebih tahan pada suhu tinggi [6]. Titik leleh plastik juga dapat dilihat dari ikatan hidrogen antar molekul. Plastik dengan jenis HDPE memiliki titik leleh pada suhu 110°C-135°C, oleh karena itu bahan ini sering digunakan pada sebuah industri untuk botol detergent, minyak, plastik anti panas, pipa plastik [7].



Gambar 1: Biji plastik HDPE

B. Perancangan Sensor Suhu Thermistor NTC 100K



Gambar 2: Sensor NTC 100K

NTC (*Negative Thermal Coefficient*) merupakan jenis Thermistor dengan cara kerjanya adalah saat pembacaan suhu semakin tinggi maka nilai resistansinya akan semakin berkurang [8]. NTC yang digunakan sekarang adalah NTC 100K, hal ini dikarenakan NTC 100K memiliki kepekaan yang cukup tinggi, sehingga cocok untuk kebutuhan sebuah alat yang dibutuhkan kepresisian [9].

C. Kipas DC Ball Bearing

Fungsi kipas umumnya adalah untuk pendingin udara, penyegar udara, ventilasi (exhaust fan), pengering (umumnya

memakai komponen penghasil panas). Kipas angin juga ditemukan di mesin penyedot debu dan berbagai ornamen untuk dekorasi ruangan. Kipas angin secara umum dibedakan atas kipas angin tradisional antara lain kipas angin tangan dan kipas angin listrik yang digerakkan menggunakan tenaga listrik. Perkembangan kipas angin semakin bervariasi baik dari segi ukuran, penempatan posisi, serta fungsi.

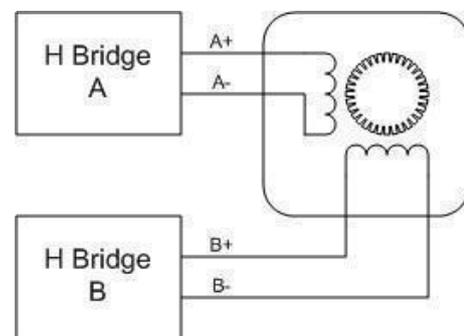
Perbedaan Kipas DC Ball Bearing dengan kipas DC yang lainnya adalah didalam kumparan lilitan tembaga kipas terdapat ball bearing ditengah tengah kumparan, sehingga putarannya bisa sangat cepat, adapun bentuk dari kipas dc ball bearing dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3: Kipas DC Ball Bearing

D. Motor Stepper Bipolar

Motor *stepper* adalah salah satu jenis motor DC yang tidak memiliki komutator. Umumnya motor *stepper* hanya mempunyai kumparan pada bagian stator, dan pada bagian rotor berbahan dari magnet yang permanen. Konstruksi ini memungkinkan putaran motor *stepper* dapat diatur pada posisi tertentu yang dapat berputar ke arah yang diinginkan, berputar searah jarum jam atau sebaliknya.



Gambar 4: Wiring diagram motor stepper bipolar

Motor *stepper* bipolar bekerja dengan cara memberikan pulsa-pulsa listrik pada keempat pin. Jika arus mengalir melalui kumparan stator, gaya elektromagnet akan mampu memutar rotor, sebaliknya jika tidak ada arus yang mengalir maka rotor akan langsung berhenti. Karena hal ini motor *stepper* memiliki keunggulan dalam presisi sudut putar, bahkan yang kecil sekalipun sampai 1.8° putaran. Motor



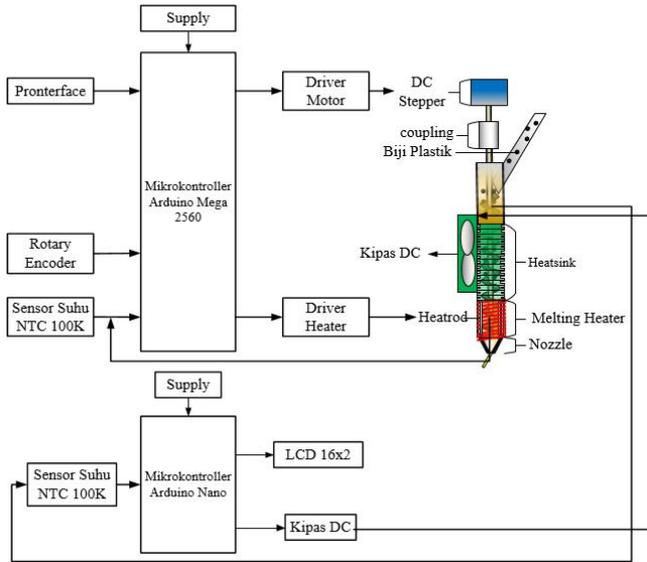
stepper yang dipakai sebagai penggerak extruder adalah tipe Nema 23 bipolar [10].

E. Pronterface

Pronterface adalah *software* yang mampu mensimulasikan 3D Printer. Dari sini mampu diatur gerakan sumbu x, y, dan z 3d printer, kecepatan motor ekstruder juga mampu diatur melalui *software* ini, selain itu memanaskan heater juga bisa dilakukan dalam *pronterface*.

III. METODE PENELITIAN

A. Diagram Blok Sistem

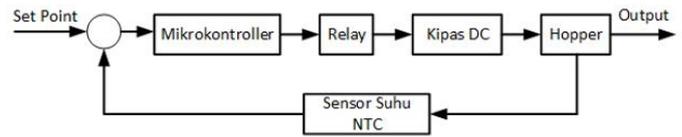


Gambar 5: Diagram Blok Sistem

Prinsip kerja alat adalah *set point* suhu diatur pada 200°C melalui *pronterface* dan dibaca marlin. Heater akan aktif dan mulai memanaskan biji plastik pada bagian *melting*. Data suhu yang terbaca dari sensor suhu NTC 100K pada bagian *melting heater* akan dikirim pada arduino mega 2560, data suhu akan dibandingkan dengan *set point*. Apabila suhu hasil pembacaan sensor kurang dari *set point* (200 °C) heater terus memanaskan agar sesuai dengan *set point*. Apabila suhu lebih tinggi dengan *set point*, maka heater akan mematikan driver agar suhu sesuai dengan *set point* (200°C).

Sedangkan arah putar dan kecepatan motor stepper dapat dirubah dengan merubah nilai variable yang tersedia pada *pronterface*, ulir yang bergerak dengan berlawanan arah jarum jam akan menekan biji plastik pada hopper dan memaksa lelehan biji plastik HDPE pada bagian *melting heater* untuk kebawah dan lelehan dikeluarkan menggunakan nozzle.

B. Perancangan Kontrol Suhu ON/OFF Hopper

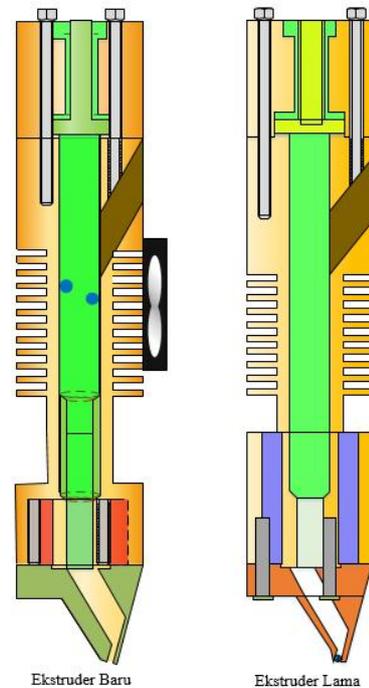


Gambar 6: Diagram Blok Pengatur Suhu Hopper

Penjelasan pada Gambar 6 adalah,

1. *Set point* adalah setting dari upper limit dan lower limit yang telah ditentukan dalam program arduino, *set point* yang digunakan pada lower limit adalah $\geq 90^{\circ}\text{C}$, dan *set point* yang digunakan pada upper limit adalah $< 110^{\circ}\text{C}$.
2. Data yang telah diolah pada mikrokontroler akan diteruskan pada module *relay*, dengan keadaan *relay* awal adalah NO (*Normally Open*), *Module relay* ini digunakan sebagai *switch ON* dan *OFF* kipas, *relay* akan menjadi NC (*Normally Close*) saat keadaan suhu pada *hopper* $< 110^{\circ}\text{C}$, kipas akan ON hingga suhu pada *hopper* mencapai $\geq 90^{\circ}\text{C}$, kemudian *relay* akan kembali menjadi NO (*Normally Open*) saat suhu pada *hopper* naik hingga $< 110^{\circ}\text{C}$.
3. Pada saat module *relay* dalam keadaan NO (*Normally Open*) maka kipas akan OFF dan saat module *relay* dalam keadaan NC (*Normally Close*) kipas akan ON.
4. Sensor suhu NTC 100K diletakkan pada *hopper* yang digunakan untuk mengetahui keadaan suhu pada *hopper* dan data yang didapat akan dikirimkan pada controller.

C. Perancangan dan Pembuatan Mekanik

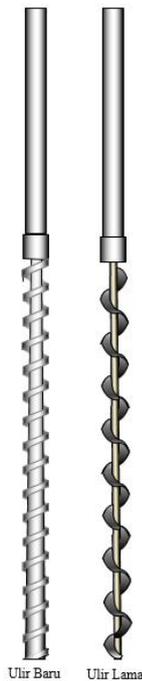


Gambar 7: Mekanik Ekstruder



Pada Gambar 7 dapat diketahui terdapat beberapa bagian ekstruder yang dirubah diantaranya adalah, pada bagian melting heater atau pemas diperkecil sehingga terdapat space yang lebih banyak antara *heatsink* dengan melting, hal ini dilakukan agar memudahkan dalam pemasangan heater.

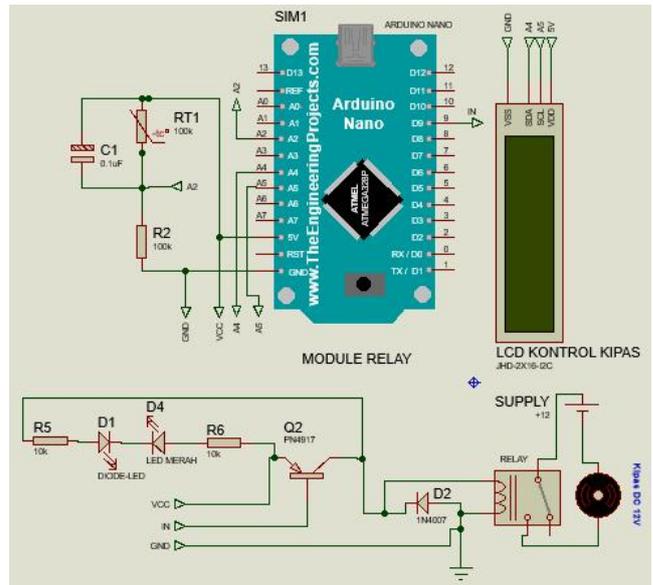
Pada bagian heatsink terdapat penambahan sirip dan pemberian kipas DC dengan ukuran kipas 4x4 cm, hal ini bertujuan agar panas pada melting ekstruder yang merambat naik tidak terlalu tinggi sehingga pada hopper suhu panas dapat ditekan dan biji plastic tidak meleleh. Selain itu pada bentuk ulir yang digunakan untuk mendorong lelehan biji plastik juga telah dirubah, yang sebelumnya diameter dalam ulir ujung hingga pangkalnya sama yaitu 3.5 mm, menjadi diameter dalam ulir pada pangkal 3.5 mm dan pada diameter ujung 6 mm, hal ini bertujuan untuk meningkatkan tekanan yang ada pada ujung ulir, seperti yang terlihat pada Gambar8.



Gambar 8: Ulir Ekstruder

D. Perancangan Rangkaian Pengontrol Suhu Hopper

Kontrol suhu pada hopper bekerja pada saat sensor membaca suhu lebih dari 110°C dengan keadaan kipas yang tersambung pada module relay adalah Normally Close (NC) dan kipas DC12V akan ON. Pada saat suhu mencapai 90 °C maka module relay menjadi Normally Open (NO) dan kipas DC 12V akan OFF.



Gambar 9: Rangkaian Kontrol Suhu Hopper Arduino Nano

Penggunaan sensor NTC 100KΩ ditempatkan pada *hopper* ekstruder, sensor diseri dengan resistor menjadi pembagi tegangan, nilai resistor dapat dihitung dengan persamaan 3.1

$$R2 = RT1 \times \left(\frac{V_{in}}{V_{out}} - 1 \right) \tag{3.1}$$

Vout dari rangkaian pembagi tegangan dijadikan input dan dimasukkan pin analog arduino nano. LCD 16x2 dijadikan display keadaan suhu, dan module relay digunakan sebagai saklar ON/OFF kipas DC 12V, keadaan awal relay NO (*Normally Open*) dan kipas OFF, saat suhu *hopper* > 110°C keadaan relay menjadi NC (*Normally Close*) dan kipas ON, saat suhu *hopper* ≤ 90°C keadaan relay akan NO (*Normally Open*) dan kipas akan OFF.

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor NTC 100K

Pengambilan data suhu pada sensor NTC 100K yang dibandingkan dengan Thermogun pada bagian *melting heater* ekstruder. Hasil data dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil pengujian yang dilakukan untuk membandingkan pembacaan sensor NTC 100K dengan alat ukur *thermogun* pada tabel 3, diperoleh nilai *error* maksimal 0,024% dan nilai *error* minimal 0,0025%. Sedangkan nilai *error* rata – rata pada pembacaan sensor NTC 100K 0,012%, dan dapat disimpulkan bahwa pengujian kalibrasi sensor NTC dengan *thermogun* diperoleh hasil yang akurat sehingga pembacaan suhu yang ditampilkan dapat dibaca dengan tepat dan layak digunakan pada sistem ini.

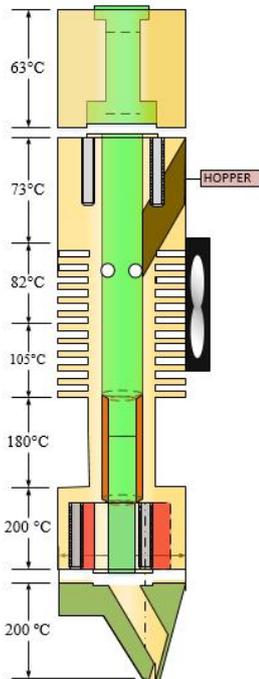


TABEL 2
 HASIL PERBANDINGAN NILAI SENSOR DENGAN ALAT UKUR

| No. | Sensor NTC 100K (°C) | Thermogun (°C) | Error (%) |
|--------------------------|----------------------|----------------|-----------|
| 1 | 30 | 29.8 | 0.006711 |
| 2 | 40 | 40.1 | 0.002494 |
| 3 | 50 | 50.3 | 0.005964 |
| 4 | 60 | 60.2 | 0.003322 |
| 5 | 70 | 69.5 | 0.007194 |
| 6 | 80 | 78.7 | 0.016518 |
| 7 | 90 | 87.9 | 0.023891 |
| 8 | 100 | 102.2 | 0.021526 |
| 9 | 110 | 108.4 | 0.01476 |
| 10 | 120 | 118.3 | 0.01437 |
| 11 | 130 | 127.8 | 0.017214 |
| 12 | 140 | 138.2 | 0.013025 |
| 13 | 150 | 147.3 | 0.01833 |
| 14 | 160 | 159 | 0.006289 |
| 15 | 170 | 168.8 | 0.007109 |
| Error Rata – Rata | | | 0.011915 |

B. Pengujian Keadaan Suhu Ekstruder

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah penambahan kipas ini dapat menurunkan suhu panas yang merambat naik atau tidak, pengujian dilakukan dengan cara mengukur suhu ekstruder pada beberapa bagian menggunakan thermogun dan ekstruder dalam keadaan dipanaskan pada suhu 200°C. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 10,

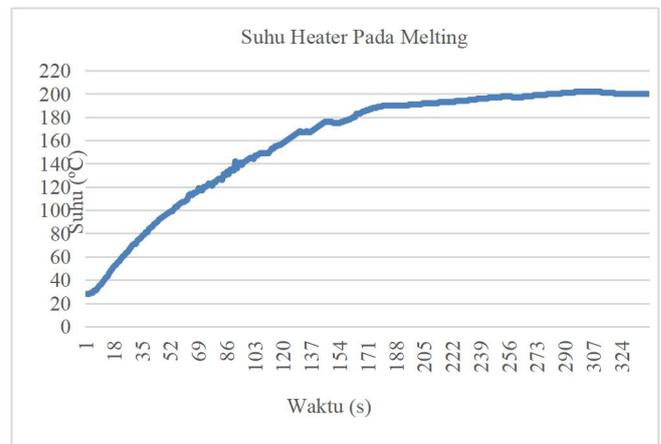


Gambar 10: Gambar Keadaan Suhu Ekstruder

Pada Gambar 10 dapat kita ketahui keadaan suhu pada ekstruder, sebelum adanya kontrol kipas suhu pada ekstruder sangat tinggi sehingga dapat melelehkan biji plastik (110 – 135°C). Dengan adanya kontrol kipas ini suhu pada ekstruder dapat turun hingga suhu terkecil adalah 63°C, diharapkan dengan penurunan suhu ini biji plastik tidak meleleh dan tekstur masih solid.

C. Pengujian Heater dengan PID Tanpa Kontrol ON/OFF Kipas

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sistem kontrol PID apakah dapat bekerja dengan baik atau tidak. Dalam hal ini, kontrol PID digunakan untuk menstabilkan suhu yang ada pada melting heater sesuai dengan besaran set point 200°C. Dengan nilai Kp, Ki, dan Kd yang dimasukkan, apakah suhu akan mencapai set point dan dapat menstabilkan suhu agar tetap pada keadaan 200°C. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 11,



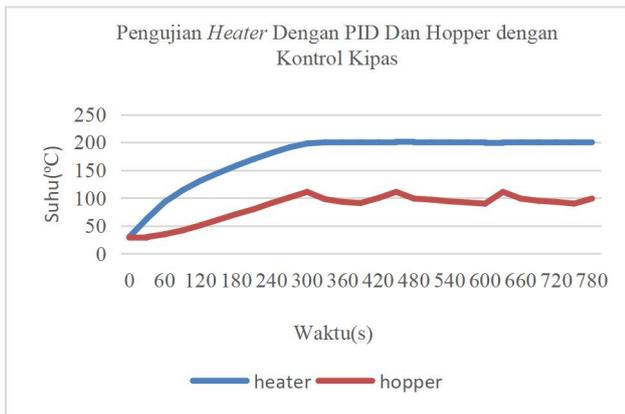
Gambar 11: Gambar Grafik Kenaikan Suhu Heater

Pada Gambar 11 merupakan gambar grafik hasil dari pengujian sistem dengan kontrol PID suhu heater dapat terjaga dengan stabil sesuai dengan set point yg diberikan yaitu 200°C. Pada pengujian ini respon dapat dikatakan bagus dan stabil. PID mampu menjaga suhu sesuai dengan setpoint 200°C dengan *maximumovershootnya* adalah 202°C dan osilasi mampu diredam. Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai 100% dari setpoint (200°C) yaitu 263s. Respon mulai stabil pada saat detik ke 292s. Dari hasil respon yang ada kontrol PID mampu mengontrol suhu sesuai *set point* dengan waktu yang relatif cepat, dan dapat mempertahankan suhunya sesuai dengan dengan nilai Kp = 45, Ki = 11.25, dan Kd = 45.



D. Pengujian Heater dengan PID dan Kontrol ON/OFF Kipas

Pengujian ini dilakukan dengan cara menggunakan kontrol PID, nilai $K_p = 45$, $K_i = 11.25$, $K_d = 45$ kemudian kontrol kipas menggunakan metode ON/OFF. Diberikan Set point 200°C , saat suhu telah mencapai set point PID akan menstabilkan suhu tersebut agar tetap pada keadaan set point, dan kipas akan ON saat suhu pada hopper diatas 110°C . dan saat suhu pada hopper dibawah 90°C kipas akan OFF. Grafik respon system PID dapat dilihat pada Gambar 12,



Gambar 12: Gambar Grafik Respon System Kontrol PID Heater dan Kontrol Kipas ON/OFF

Pada analisa hasil pengujian sistem ini berdasarkan Gambar 12 dapat diketahui gambar grafik pada suhu heater dan hopper, dengan kontrol PID suhu heater dapat terjaga dengan stabil dan sesuai denganset point yg diberikan yaitu 200°C . Pada pengujian ini respon dapat dikatakan stabil. PID mampu menjaga suhu sesuai dengan setpoint 200°C dan maximum overshootnya ada di suhu 201, osilasi mampu diredam. Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai 100% dari setpoint (200°C) yaitu 330 s, respon mulai dapat menstabilkan suhu agar tetap terjaga pada suhu 200°C pada detik ke 420s. Dari hasil respon yang ada kontrol PID mampu menjaga suhu sesuai set point(200°C) dan waktu yang relatif cepat, dengan dengan nilai $K_p = 45$, $K_i = 11.25$, dan $K_d = 45$.

Respon sistem dengan penambahan kontrol kipas menghasilkan respon yang tidak terlalu jauh dari respon sistem yang tidak menggunakan kontrol kipas, meskipun hasil respon sistemnya berbeda, namun PID tetap bekerja dengan baik dan menjaga suhu agar tetap stabil. Pada penelitian ini ditambahkan kontrol kipas untuk menjaga suhu yang ada pada bagian hopper agar tidak terlalu tinggi, karena saat suhu terlalu tinggi pada hopper maka biji plastik akan meleleh dan lelehan biji plastik akan naik keatas dan keluar melalui hopper, dengan adanya penambahan kipas ini maka biji plastik tidak akan leleh, masih berbentuk biji dan memiliki tekstur yang solid, dan lelehan tidak akan naik keatas melalui hopper.

E. Pengujian Kecepatan Motor Terhadap Lelehan Biji Plastik

Pengujian kecepatan motor stepper dilakukan melalui aplikasi Pronterface, dengan cara mengubah nilai kecepatan motor untuk mengetahui kecepatan dan debit lelehan biji plastik HDPE yang keluar pada nozzle diameter 2mm.

TABEL 4
 TABEL PENGUJIAN KECEPATAN DAN DEBIT LELEHAN

| Kecepatan pada pronterface (mm/min) | Frekuensi (Hz) | Kecepatan (RPM) | Kecepatan Lelehan Plastik (mm/s) |
|-------------------------------------|----------------|-----------------|----------------------------------|
| 500 | 213 | 63,9 | 3,2 |
| 700 | 301 | 90,3 | 4,5 |
| 800 | 342 | 102,6 | 5,1 |
| 900 | 381 | 114,3 | 7,25 |
| 1000 | 430 | 129 | 7,5 |
| 1500 | 637 | 191 | 8 |
| 1700 | 716 | 214,8 | 8,3 |
| 2000 | 838 | 251,4 | 9 |
| 2100 | 892 | 267,6 | 10 |

Berdasarkan hasil pengujian tabel 4, semakin tinggi kecepatan yang diatur pada pronterface maka semakin panjang kecepatan lelehan filament yang keluar pada nozzle 2mm, dengan data yang diperoleh kecepatan lelehan tertinggi 10 mm/s.

V. PENUTUP

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat kita simpulkan sebagai berikut :

Pengontrolan suhu melting heater menggunakan metode PID dengan nilai $K_p = 45$, $K_i = 11.25$, dan $K_d = 45$. PID mampu menjaga suhu sesuai dengan setpoint 200°C dan maximum overshootnya ada di suhu 201°C . Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai 100% dari setpoint (200°C) yaitu 330 s, respon mulai dapat menstabilkan suhu agar tetap terjaga pada suhu 200°C pada detik ke 420s, dengan besar nilai respon sistem yang diperoleh dapat dikatakan sistem PID sudah bagus dan stabil, sistem PID dapat menjaga suhu sesuai dengan setpoint 200°C , meskipun waktu yang dibutuhkan untuk mencapai set point sedikit lebih lama.

Pengontrolan Suhu pada Hopper diberikan karena adanya perambatan panas yang terjadi dari bagian melting dan naik menuju bagian hopper, pada bagian hopper suhu harus terjaga



antara 90 - 110°C, digunakan kipas dc 12v saat keadaan suhu pada hopper > 110°C kipas akan ON, sedangkan saat suhu hopper ≤ 90°C kipas akan OFF. Pengontrolan suhu menggunakan kipas pada bagian hopper dapat menjaga biji plastik tidak meleleh terlebih dahulu, biji plastik yang meleleh pada bagian melting tidak akan naik ke hopper karena tekstur biji plastik pada hopper solid.

Kecepatan lelehan maksimum pada set point *pronterface* 2100 mm/min menghasilkan lelehan filament dengan debit 10 mm/s.

REFERENSI

- [1] More, M. P. (2013). 3D printing making the digital real
- [6] Anis Masyruroh, Iroh Rahmawati, "Pembuatan *Recycle* Plastik Hdpe Sederhana Menjadi Asbak" Jurnal ABDIKARYA, Volume 3, No. 1, ISSN : 2686-6447, April 2021
- [7] Arinda Rahmadiny, dkk. "Penggunaan Material Limbah High Density Polyethylene (HDPE) Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton" Jurnal Widyakala, Volume 6, Special Issue Juli 2019.
- [8] 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.
- [2] Dahlan, M., Gunawan, B., & Hilyana, F. S. (2017). Rancang Bangun Printer 3D Menggunakan Kontroller Arduino Mega 2560. *Prosiding SNATIF*, 105-110.
- [3] C.A.S. Wibisono, B. Setiawan, I. Siradjuddin, "Penerapan PID Kontrol Untuk Pengendalian Kecepatan Motor DC Stepper Pada Pemposisi Hasil Cetak Filament (3D Printing) Di Gulungan Berbahan Daur Ulang," *Jurnal Elkolind*, Vol. 07, No. 1, Mei 2020.
- [4] "Typical Engineering Properties of High Density Polyethylene datasheet," INEOS Olefins & Polymers USA, Texas, USA.
- [5] Gisela Ririh, Budhy Setiawan, Indrazno Siradjuddin, "Kontrol Suhu Extruder Menggunakan Metode Feeding Biji Plastik HDPE Pada 3D Printer Simetris Bilateral" *Jurnal Elkolind*, Volume 8, Nomor 1, Mei 2021
- [9] 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].
- [10] "stepIM Integrated Closed Loop Motor Stepper Rev 5.2 datasheet," Servotronix, Petach Tikva, Israel.

