



Ranah Research : Journal of Multidisciplinary Research and Development

+62 821-7074-3613

ranahresearch@gmail.com

<https://jurnal.ranahresearch.com/>



Sistem Kontrol Temperatur Metode *Pid Heatbed* dan *Ekstruder* pada Printer Tiga Dimensi

Aidil Alfajri¹, Mukhlidi Muskhir²

¹ Universitas Negeri Padang, aidilalfajri000@gmail.com

² Universitas Negeri Padang, muskhir@ft.unp.ac.id

Corresponding Author: aidilalfajri000@gmail.com¹

Abstract: Control of the temperature on the Hotend and HeatBed is very important. An inaccurate and unstable temperature on the extruder can disrupt the extrusion process which results in a lack of quality printouts. The purpose of this research is to create a temperature control system for Hotend and Heat Bed using the PID (Proportional Integral Derivative) method which is applied to three-dimensional printers using the FDM and PLA Filament methods. The control system uses two separate PID systems on the Hotend and Heat Bed but still uses the same microcontroller. On the Hotend, the PID data input is obtained from a 100k Ohm Thermistor which is connected to the Microcontroller analog pin via a 3-dimensional printer shield. The output is a PWM signal from the microcontroller to the heating element via a MOSFET which will later be attached to the hotel. Based on the tests that have been carried out, the temperature control system using the PID method can control the temperature at the hotend with an error rate of 0.5% and there is no error or overshoot at the heatbed temperature.

Keyword: Three Dimensional Printer, PID Control System, FDM, Marlin

Abstrak: Kontrol terhadap suhu pada Hotend dan HeatBed sangatlah penting. Suhu yang kurang tepat dan tidak stabil pada Ekstruder dapat mengganggu proses Ekstrusi yang berdampak kepada kurangnya kualitas hasil cetak. Tujuan penelitian ini adalah membuat sistem kontrol suhu pada Hotend dan Heat Bed menggunakan metode PID (Proporsional Integral Derivatif) yang dipakaikan pada printer tiga dimensi dengan metode FDM dan Filament PLA. Sistem Kontrol menggunakan dua sistem PID terpisah pada Hotend dan Heat Bed tetapi tetap menggunakan satu mikrokontroler yang sama. Pada Hotend, Input data PID didapat dari Thermistor 100k Ohm yang dihubungkan pada pin analog Mikrokontroler melalui sebuah shield printer 3 dimensi. Outputnya berupa sinyal PWM dari mikrokontroler ke elemen pemanas melalui sebuah mosfet yang nantinya elemen pemanas ini dipasangkan pada Hotend. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, sistem kontrol suhu dengan metode PID ini dapat mengontrol Temperatur pada Hotend dengan Tingkat Error 0,5% dan tidak ada error atau overshoot pada temperatur Heatbed.

Kata Kunci: Printer Tiga Dimensi, Sistem Kontrol PID, FDM, Marlin

PENDAHULUAN

Untuk membuat sampel produk banyak industri manufaktur yang memanfaatkan printer tiga dimensi dikarenakan prosesnya yang cepat dan tidak mengeluarkan banyak biaya untuk mengoperasikannya. Banyak juga industri yang menggunakan 3 printer untuk menciptakan produk *single part* yang bersifat costum. Jika dibandingkan dengan *Injection Molding* dan *Computer Numerical Control (CNC)*, printer tiga dimensi memiliki banyak keunggulan diantaranya adalah penghematan biaya produksi, penghematan energi, pengurangan emisi gas CO₂, serta kemampuan menghasilkan produk dengan bentuk yang rumit (Kusuma, 2016).

Diantara tipe mesin printer tiga dimensi yaitu tipe *fused deposition modelling (FDM)*. FDM, nama itu sendiri memberi gambaran bahwa bagian-bagian tersebut dibentuk oleh pengendapan bahan yang menyatu dalam lapisan. Teknik *Rapid Prototyping* ini digunakan dalam pemodelan, pembuatan prototipe dan aplikasi produksi. FDM dikembangkan oleh S. Scott Crump pada akhir 1980-an dan dikomersialkan pada 1990 oleh Stratasys.

FDM memungkinkan pembuatan objek atau prototipe dengan proses lapisan berurutan di mana bagian-bagian dibuat dengan memanaskan dan mengekstrusi filamen termoplastik langsung melalui nozelnya. Menggunakan data CAD dan pengaturan parameter mesin tertentu, kepala ekstrusi printer FDM bergerak sesuai dengan koordinat dan posisi untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan oleh pelanggan atau pengguna (Faiz et al. 2017)

Printer tiga dimensi dengan metode *Fused Deposition Modelling* memiliki beberapa kelemahan. Kelemahan itu adalah adhesi yang buruk antara lapisan pertama objek hasil print dengan meja cetak dan warping. *Warping* adalah cacat pada objek dimana bahan mendingin selama masa pembentukan sehingga berkurangnya dimensi objek, mengakibatkan objek melengkung, menyusut, dan mengelupas sehingga objek tidak sesuai dengan desain sebelum dicetak. Kedua permasalahan ini disebabkan oleh perbedaan suhu pada saat proses pencetakan, yaitu pelelehan filament, dengan suhu pada meja cetak. Untuk itu, suhu pada meja cetak dan pada ekstruder perlu dikontrol agar pelelehan filament dapat berlangsung dengan baik dan menghasilkan objek yang presisi sesuai dengan desain.

berdasarkan hasil penelitian dari Prayogo (2020), dengan mengontrol suhu menggunakan metode logika Fuzzy dengan menggunakan 2 buah label membership function untuk masukan Error dan delta Error, metode Mamdani, dan metode *defuzzifikasi Centroid* mampu membuat sistem tetap stabil dan sesuai dengan setpoint dengan nilai rata-rata error -0,57% (Prayogo, 2020).

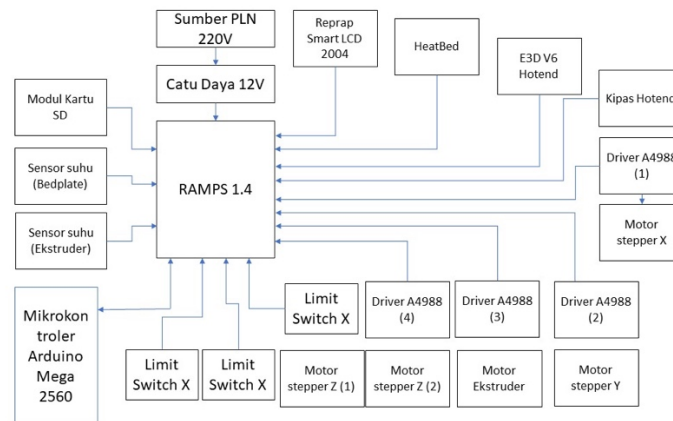
berdasarkan hasil penelitian dari Prayogo (2020) tersebut, maka dilakukanlah penelitian penggunaan metode *Proportional Integral Derivative (PID)* pada sistem Kontrol Suhu Heat Bed dan Ekstruder pada printer tiga dimensi *Fused Deposition Modelling* dengan Filament PLA. Apakah dengan menggunakan metode yang berbeda, bisa diperoleh hasil error yang lebih kecil dan kualitas produk pencetakan yang lebih baik. Suhu pada *Heatbed* dan *Hotend* nantinya didata dan dibandingkan dengan hasil produk yang dicetak.

METODE

Penelitian Mengenai sistem kontrol temperatur metode PID pada Heatbed dan Ekstruder Printer Tiga Dimensi ini diterapkan pada Printer Tiga Dimensi Tipe *Cartesian* dan menggunakan Filament PolyLactic Acid (PLA). Penelitian melibatkan dua sistem kontrol, yaitu sistem Kontrol PID dan sistem Kontrol Metode On-Off (*default*) pada Firmware Marlin.

Blok Diagram

Sebelum Penerapan Sistem Kontrol PID pada Heatbed dan Hotend, dilakukan Perancangan terhadap Printer Tiga Dimensi yang akan digunakan. Blok Diagram ini meliputi pemodelan terhadap komponen masukan, keluaran, dan Proses dengan menggunakan simbol simbol yang telah ditentukan. Pada Gambar 1 menunjukkan Blok Diagram Printer Tiga Dimensi.



Gambar 1. Blok Diagram Printer Tiga Dimensi

Berdasarkan Blok Diagram yang ditunjukkan pada Gambar 1 diatas, fungsi dari masing masing bagian komponen adalah :

1. **Catu Daya 12 Volt**
Pada Perancangan sistem, catu daya digunakan sebagai sumber DC utama dari semua komponen pada rangkaian. rangkaian catu daya membutuhkan tegangan input 120 volt sampai 240 volt AC, diturunkan menjadi 12 Volt DC dengan nilai arus sebesar 20 Ampere.
2. **Mikrokontroler Arduino Mega 2560**
Papan Mikrokontroler Arduino Mega 2560 dimanfaatkan sebagai pusat pengendalian yang akan bekerja sesuai dengan input yang diberikan. mikrokontroler menerima masukan data melalui komponen input, kemudian memproses nya dan mengeluarkan sinyal perintah yang akan dilakukan oleh komponen output.
3. **RAMPS**
Reprap Arduino Mega Pololu Shield atau yang biasa disebut RAMPS adalah sebuah papan yang berfungsi sebagai antarmuka antara Arduino Mega sebagai pengontrol, dan perangkat elektronik input atau output pada printer tiga dimensi. RAMPS digunakan sebagai penghubung antara arduino dengan Komponen Elektronika pada Printer Tiga Dimensi.
4. **Reprap Smart Controller LCD**
Reprap Smart Controller LCD pada sistem digunakan sebagai antarmuka antara pengguna dengan Printer Tiga Dimensi. Reprap Smart Controller LCD memiliki LCD 4x16 dengan Modul Kartu SD dan sebuah Rotary Encoder. Reprap Smart Controller LCD bisa digunakan sebagai Komponen pengontrol Printer Tiga Dimensi. Pengguna dapat melakukan Proses Pencetakan Objek menggunakan Reprap Smart Controller LCD sebagai pengontrol tanpa harus terhubung ke Komputer atau Laptop.
5. **Ekstruder J-head V6 Kit**
Pada rangkaian, Ekstruder J-Head V6 kit digunakan sebagai komponen yang menyalurkan filament untuk kemudian dipanaskan pada bagain Hotend dan kemudian diekstrusi melalui Nozzle dan dibentuk pada Heat bed
6. **Driver motor Stepper A4988**
Driver motor stepper A4988 digunakan untuk mengatur kerja dari motor stepper. Driver mengatur arah putar motor stepper dan step motor stepper. Driver motor stepper A4988

pada dasarnya merupakan rangkaian H-bridge transistor yang mengatur pensaklaran pada motor. driver A4988 dirancang untuk mengoperasikan motor stepper bipolar dengan konfigurasi full step, half step, quarter step, hingga sixteenth step.

7. Motor Stepper (Bipolar)

Pada Sistem, digunakan 5 Unit Motor Stepper. Motor Stepper digunakan untuk Axis X,Y,Z dan Ekstruder. Motor Axis X digunakan untuk mengatur pergerakan Axis X pada printer tiga dimensi. Motor Axis Y digunakan untuk menggerakkan Heatbed sepanjang lintasan Axis Y. dua Motor Axis Z digunakan untuk menggerakkan kit Ekstruder Turun dan Naik sepanjang lintasan Axis Z. Motor Ekstruder digunakan untuk mendorong filament pada proses ekstrusi (pencetakan objek).

8. Limit Switch Endstop

Pada rangkaian sistem, limit switch digunakan untuk menentukan posisi Home pada masing masing Axis X,Y dan Z. limit switch juga sebagai proteksi ketika terjadi error seperti jika ekstruder atau Heat Bed bergerak keluar jalur

9. Sensor suhu thermistor (*Heatbed* dan *Hotend*)

Pada rangkaian, Sensor suhu (Thermistor) digunakan sebagai komponen pemantau Suhu pada Proses Pencetakan Objek.

10. Reprap Smart LCD Controller

Reprap Smart LCD Controller Digunakan sebagai antarmuka antara pengguna dengan printer tiga dimensi. Pada Reprap Smart LCD controler terdapat Modul SD Card untuk membaca File Gcode untuk Pencetakan Objek melalui Reprap Smart LCD Controler untuk pencetakan tanpa terhubung ke Komputer atau Laptop

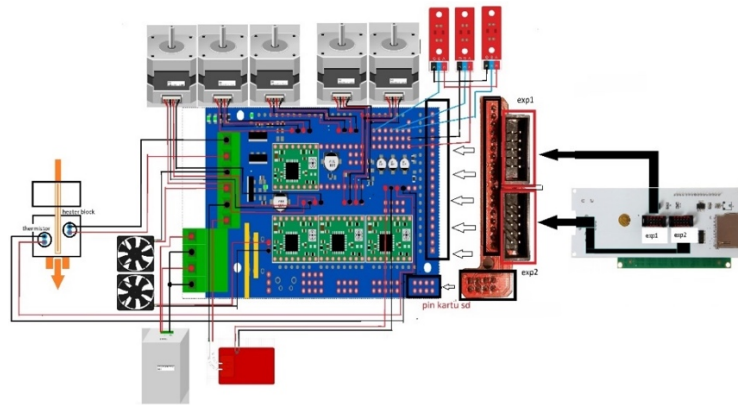
Prinsi kerja Printer Tiga Dimensi dengan sistem kontrol Temperatur PID yaitu pengguna membuat desain dengan file Ekstensi .Stl, kemudian pengguna memasukkan desain ke Software Slicer untuk membuat File Kode Mesin Printer Tiga dimensi (File *.Gcode*). file *Gcode* adalah Setiap lapisan representasi 2D dari geometri model dalam bidang XY pada ketinggian tertentu pada desain. File *Gcode* juga berisi nilai Temperatur pada *Heatbed* dan *Hotend* untuk proses pencetakan objek. Selanjutnya pengguna memasukkan File *Gcode* ke Modul kartu SD pada *Reprap Smart LCD Controller*. Pengguna memilih file yang akan dicetak lalu printer akan mulai memanaskan Temperatur *Heatbed* dan *Hotend*. Pemanasan *Heatbed* dan *Hotend* dikontrol lewat metode PID dimana Nilai Temperatur Dikontrol sesuai dengan nilai *Setpoint* yang diatur pada proses *Slicer* tadi. Kontrol PID menggunakan sistem Umpan Balik dimana Nilai Temperatur dijadikan sebagai Inputan kembali Sistem. Semakin Besar Nilai Error (perbedaan nilai aktual dengan nilai *Setpoint*) maka semakin besar pula usaha yang diberikan pada Sistem Kontrol. Sebaliknya semakin kecil Nilai Error, maka semakin kecil pula Usaha yang diberikan.

Perancangan Hardware

Perancangan Hardware adalah perancangan yang meliputi perancangan Elektronika, Perancangan Mekanik Alat, dan perancangan Firmware.

Perancangan Elektronika

Dari Blog Diagram yang telah dibuat diatas, maka dilakukan lah perancangan terhadap Printer Tiga Dimensi. Wiring diagram hasil perancangan dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.

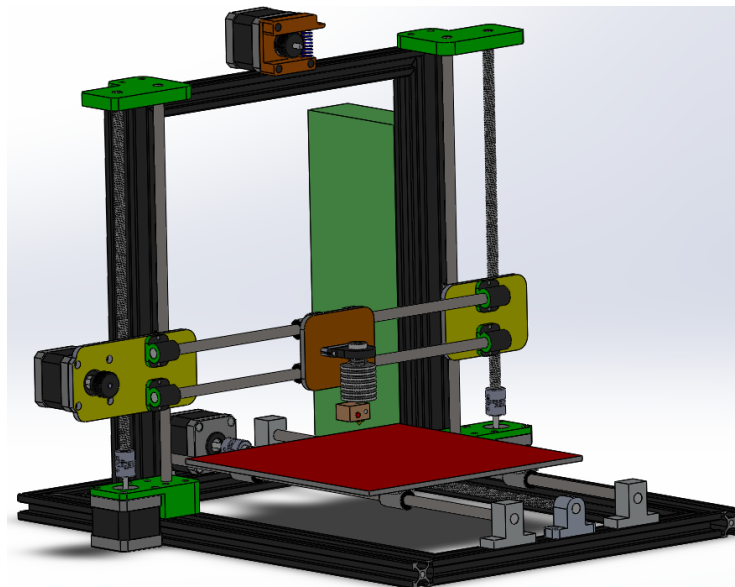


Gambar 2. Wiring Diagram Printer Tiga Dimensi

Dari Wiring Diagram diatas, maka dirancanglah Printer Tiga Dimensi Tipe Cartesian. Rangkaian dari Printer Tiga Dimensi tipe Cartesian Ini menggunakan Aluminium Frame dengan tambahan Akrilik sebagai bahan Frame tempat letak Komponen.

Perancangan Mekanik

Dari hasil Perancangan Wiring Diagram diatas, kemudian dilakukan Perancangan Mekanik terhadap Alat. Hasil perancangan mekanik terhadap alat dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Perancangan Mekanik Alat

Perancangan Firmware

Pada Perancangan Firmware, Perancangan dilakukan dengan melakukan pengaturan terhadap fitur-fitur seperti Tipe Driver Motor Stepper, Nilai Step per Milimeter Motor Stepper, Nilai Akselerasi pada Masing Masing Motor Stepper, diameter Filament, Tipe LCD, Pengaktifan Kontroler PID *Hotend* dan *Heatbed*, dan Nilai *Z Offset* yang digunakan pada Firmware Marlin kemudian menyesuaikan nilainya dengan komponen yang digunakan pada Printer Tiga Dimensi. Perancangan Firmware menggunakan *Software Arduino IDE* untuk selanjutnya Diupload menggunakan *Software Arduino IDE* juga.

Pada Perancangan Firmware, dilakukan juga Pencarian Nilai Koefisien P,I,D untuk keperluan Sistem Kontrol. Pencarian Nilai Koefisien P,I,D dilakukan dengan perintah *Self Tuning PID* pada Marlin Firmware yang diakses melalui *Software Pronterface*. Pencarian Nilai dilakukan dengan memasukkan perintah pada Rumus (1) dibawah ini :

$$M303 E0 C30 S20 \quad (1)$$

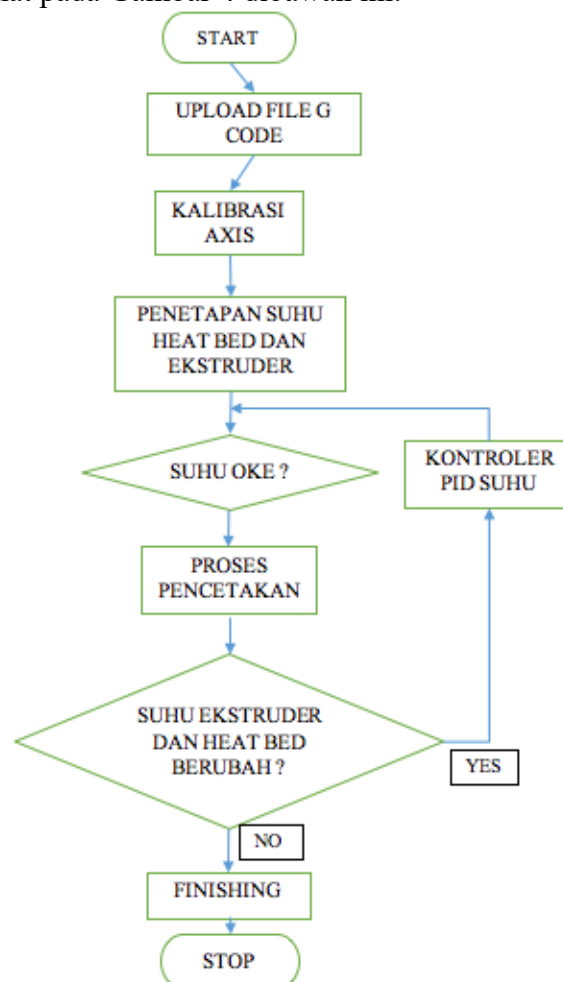
Keterangan :

1. M303 = perintah penggunaan program self tuning pada Firmware Marlin
2. E = Index Hotend. Nilai 0 untuk Hotend, nilai -1 untuk Heatbed
3. C = siklus pencarian nilai koefisien
4. S = Temperatur (Nilai Setpoint) 200 untuk Hotend, 60 untuk Heatbed

Perintah tersebut dimasukkan pada Kolom Perintah Pronterface. Setelah dimasukkan, Mikrokontroler mulai melakukan *Self tuning* Hingga keluar nilai Koefisien pada Kolom Notifikasi Pronterface. Nilai tersebut dimasukkan pada tab PIDTEMP dan PIDTEMPBED pada Marlin Firmware menggunakan Software Arduino.

Flowchart

Flowchart adalah urutan Instruksi sistem yang dibentuk dalam sebuah diagram. Flowchart menggambarkan rangkaian kerja dari sistem yang akan dibuat. Flowchart dari tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Flowchart Rangkaian Kerja Sistem

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tujuan dari Pengujian ini yaitu melihat temperatur pada Heatbed dan Hotend apakah berada stabil pada Nilai Setpoint yang diberikan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan Metode Kontrol Temperatur PID dengan Metode On-Off. Metode On-Off adalah metode dimana Heater Dipanaskan (on) ketika nilai temperatur berada dibawah nilai setpoint yang diberikan, dan heater dimatikan (off) ketika nilai temperatur berada diatas nilai setpoint yang diberikan.

Pengujian Sistem Keseluruhan

Sebelum Diambil Data Sistem Kontrol Temperatur Heatbed Dan Hotend, dilakukan terlebih dahulu pengecekan terhadap Komponen yang digunakan. Pengecekan komponen dilakukan dengan mengukur tegangan pada tiap komponen, apakah nilai yang terbaca sesuai dengan Spesifikasi atau tidak. Pengujian tegangan pada tiap komponen dapat dilihat pada

Table 1. Pengujian Tegangan Masing masing komponen

Komponen	Tegangan Kerja (Volt)	Tegangan Terbaca (Volt)
Power Supply	12	12,19
Mikrokontroler Arduino	5	5,036
Limit Switch Endstop	5	3,031
Motor Stepper	12	12
Heater Ekstruder	12	11,90
Heater Heatbed	12	11,90

Dari hasil pengukuran tegangan pada masing masing komponen, nilai tegangan yang terbaca sesuai dengan tegangan kerja pada masing masing komponen. Hal ini menunjukkan bahwa semua komponen bekerja dengan baik untuk kemudian dilakukan pengujian sistem kontrol.

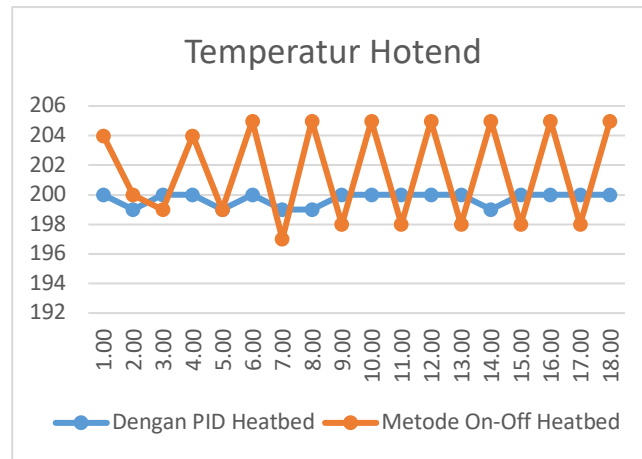
Pengujian sistem Kontrol Temperatur Metode PID dan On-Off pada Hotend

Nilai Koefision PID Hotend yang didapat dari Pencarian Nilai pada Software Pronterface kemudian dimasukkan pada Program Marlin pada tab Configuration Line PIDTEMP. Program kemudian diupload ke Mikrokontroler. Setelah program diupload, dilakukan proses pencetakan Desain Kubus Kosong tanpa Alas dan Atap. Temperatur pada proses pencetakan dipantau dan dicatat. Setelah proses pencetakan selesai, Lebar Dinding pada Kubus diukur dan dijadikan sebagai data Pengujian. Pada Table 2 ditunjukkan data nilai Temperatur pada Hotend.

Table 2. Data Temperatur Hotend

Menit Ke -	Temperatur Hotend (°C)		
	Metode On-Off	PID	
1	1.00	202	200
2	2.00	201	199
3	3.00	200	200
4	4.00	205	200
5	5.00	198	199
6	6.00	204	200
7	7.00	199	199
8	8.00	202	199
9	9.00	202	200
10	10.00	202	200
11	11.00	200	200
12	12.00	204	200
13	13.00	203	200
14	14.00	201	199
15	15.00	204	200
16	16.00	198	200
17	17.00	205	200
18	18.00	197	200

Berdasarkan data Dari Table 2, dibuatkanlah sebuah grafik untuk mempermudah pembacaan dan perbandingan data. Grafik perbandingan temperatur Hotend ketika dicoba dengan sistem kontrol Pid dan sistem kontrol On-Off dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Kurva Temperatur Hotend

Berdasarkan Kurva Dan tabel diatas, bisa dilihat dengan sistem kontrol PID Temperatur pada Hotend jauh lebih stabil. Sistem kontrol Pid mampu menjaga Temperatur pada nilai set point nya. Sekalipun terjadi overshoot, nilai overshoot hanya 0,5 % dari nilai setpoint yang ditentukan. Stabilitasnya temperatur pada hotend membuat proses ekstrusi filament berjalan dengan baik. Sistem Kontrol Temperatur metode On-Off mengalami fluktuatif dan error hingga 2,5%. Error ini berdampak kepada proses ekstrusi Filament yang kurang baik.

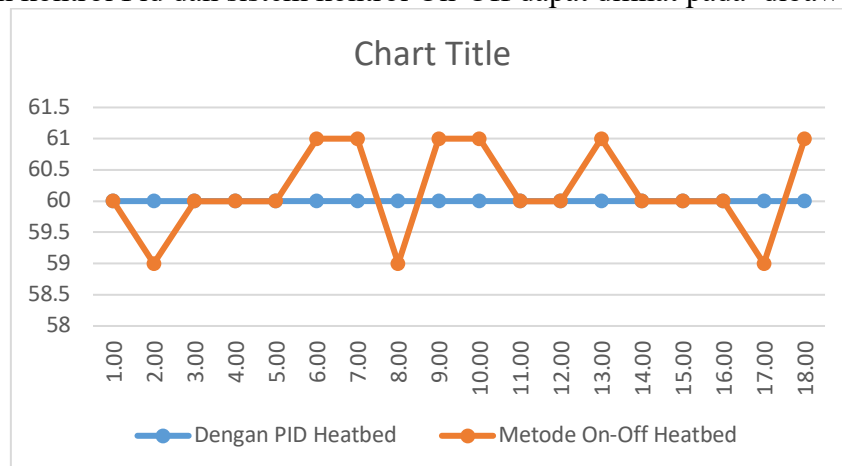
Pengujian sistem Kontrol Temperatur Metode PID dan On-Off pada Heatbed

Nilai Koefision PID Hotend yang didapat dari Pencarian Nilai pada Software Pronterface kemudian dimasukkan pada Program Marlin pada tab Configuration Line PIDTEMP. Program kemudian diupload ke Mikrokontroler. Setelah program diupload, dilakukan proses pencetakan Desain Kubus Kosong tanpa Alas dan Atap. Temperatur pada proses pencetakan dipantau dan dicatat. Setelah proses pencetakan selesai, Lebar Dinding pada Kubus diukur dan dijadikan sebagai data Pengujian. Pada ditunjukkan data nilai Temperatur pada Hotend.

Table 3. Data Temperatur Heatbed

No	Menit ke -	Temperatur Heatbed	
		Metode On-Off	PID
1	1.00	60	60
2	2.00	59	60
3	3.00	60	60
4	4.00	61	60
5	5.00	60	60
6	6.00	60	60
7	7.00	60	60
8	8.00	59	60
9	9.00	60	60
10	10.00	60	60
11	11.00	60	60
12	12.00	61	60
13	13.00	60	60
14	14.00	61	60
15	15.00	59	60
16	16.00	60	60
17	17.00	61	60
18	18.00	60	60

Berdasarkan dari data pada Table 3, dibuatkanlah sebuah grafik untuk mempermudah pembacaan dan perbandingan data. Grafik perbandingan temperatur Hotend ketika dicoba dengan sistem kontrol Pid dan sistem kontrol On-Off dapat dilihat pada dibawah ini.



Gambar 6. Kurva Perbandingan dua Sistem Kontrol pada Heatbed

Berdasarkan data dari Tabel dan Kurva diatas, bisa dilihat dengan sistem kontrol PID Temperatur pada Heatbed lebih stabil. Sistem kontrol PID mampu menjaga Temperatur pada nilai set point nya, tidak terjadi Overshoot dan Fluktuatif. Temperatur pada Heatbed yang stabil membuat proses pelekatan filament hasil ekstrusi dari Nozzle (Hotend) Pada Heatbed bekerja dengan baik bila dibandingkan dengan sistem On-Off yang memiliki Error Hingga 1,6%.

Tinggi dan lebar hasil proses pencetakan

Berikut pada data hasil pengukuran lebar dinding objek cetak hasil Pencetakan dengan sistem kontrol Temperatur PID, dan sistem Kontrol Metode On-Off.

Table 4. Tinggi dan Lebar Hasil proses pencetakan

Sistem Kontrol	Lebar Dinding (mm)	Tinggi layer pertama (mm)
PID	1,0	0,55
On-Off	1,14	0,69

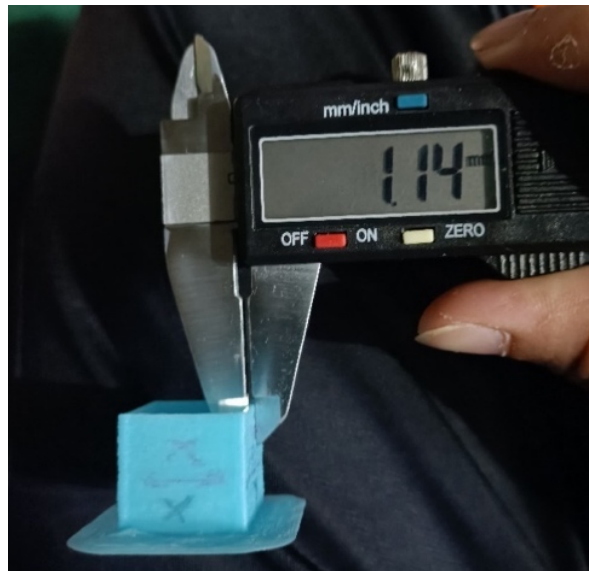
Hasil Pencetakan

Hasil Pencetakan dengan sistem kontrol PID dapat dilihat pada Gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Hasil Pencetakan dengan sistem kontrol PID

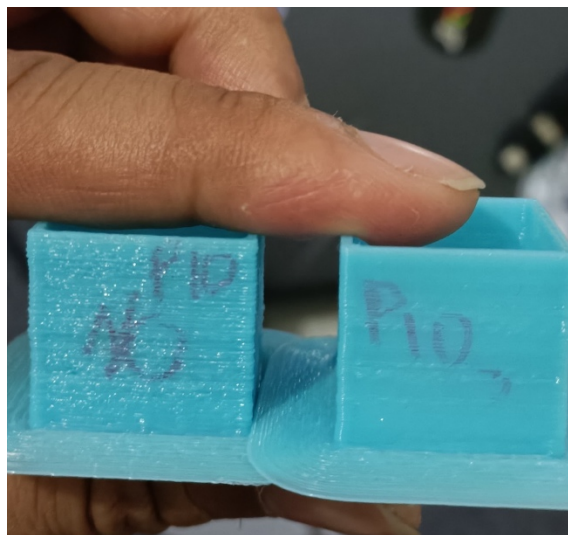
Hasil Pencetakan dengan sistem Kontrol On-Off Dapat dilihat pada Gambar 8 dibawah ini



Gambar 8. Hasil Pencetakan dengan Metode On-Off

Perbandingan tampak hasil Cetak

Tampak Hasil Cetak Dengan Metode Pid dibandingkan dengan Metode On-Off untuk melihat perbandingan kemulusan hasil cetak. Perbandingan Tampak Hasil Cetak dapat dilihat pada Gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9. Perbandingan Tampak Hasil Cetak

Pada Perbandingan Hasil Cetak, bisa dilihat Permukaan sisi tampak depan objek dengan sistem kontrol PID tampak lebih halus jika dibandingkan dengan sistem kontrol On-Off. Hal ini dikarenakan proses ekstrusi pada printer tiga dimensi dengan sistem kontrol temperatur PID berjalan dengan baik. Printer Tiga Dimensi dengan sistem kontrol metode On-Off mengalami proses ekstrusi yang kurang baik dikarenakan suhu yang fluktuatif pada Hotend.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian serta analisa terhadap Printer Tiga Dimensi dengan sistem kontrol temperatur PID pada Hotend dan Heatbed, maka penulis mendapatkan kesimpulan :

1. Penggunaan Sistem Kontrol PID untuk mengontrol temperatur Hotend pada Printer Tiga Dimensi dengan metode cetak Fused Deposition Modelling beroperasi sesuai dengan tujuan, yaitu mampu mengontrol suhu secara optimal dengan Error 0,5% pada Hotend, hal

- ini lebih baik daripada Metode On-Off dengan Error 2,5% dan 0,57% dengan Metode logika Fuzzy
2. Pada Heatbed, Sistem Kontrol Temperatur dengan Metode PID mampu menjaga Temperatur pada nilai Setpoint tanpa adanya Overshoot sama sekali atau bisa dikatakan tanpa adanya error sama sekali. Hal ini sangat baik jika dibandingkan dengan metode On-off yang Fluktuatif dan memiliki Error 1,6%.
 3. Proses ekstrusi yang baik berdampak kepada bagusnya kualitas objek hasil pencetakan dan meningkatnya kepadatan objek hasil cetak. Hal ini bisa dilihat dari presisinya hasil pencetakan apabila dibandingkan dengan Desain.

REFERENSI

- Al-Maliki, Jabbar Qasim dan Alaa Jabbar Qasim Al-Maliki. 2015. *The Processes and Technologies of 3D Printing. International Journal of Advances in Computer Science and Technology*. 4(10), 161-165.
- Bishop, Owen. 2010. *Elektronika Dasar*. Jakarta : Erlangga
- Budhiharto, Widodo. 2014, *Panduan Praktis Dan Perancangan Hasil Karya Robot*. Jakarta: Andi.
- Dwi, Rachmat et al. 2021. "Batok Kelapa Dengan Aplikasi Teknologi Refrijerasi Berbasis Semi-Otomasi (Mikro- Kontroller)." 2(1): 39–44.
- Faiz, Redza et al. 2017. "Investigation of Warping Deformation in Fused Deposition Modelling by Sago Starch Adhesion." (September).
- Kusuma, Ivan Eliata. 2016. "Pengembangan Model Bisnis Berbasis Teknologi printer tiga dimensi Dengan Pendekatan Product Service System (Pss)." *Tesis - Ti142307*.
- Prayogo, A. D., Priyadi, B., & Singgih, H. (2021). Implementasi Kontrol Fuzzy Pada Pengaturan Suhu Untuk Alat Pencetakan Daur Ulang Filament (3D Printing). *Jurnal Elektronika Otomasi Industri*, 7(1), 2-9.