

# Rancang Bangun Extruder Pembentuk Filamen Berbasis Arduino

<sup>1</sup>Fajar alam, <sup>2</sup>Charis Fathul Hadi, <sup>3</sup>Untung Suryadhianto

<sup>123</sup>Jurusan Teknik Elektro, Universitas PGRI Banyuwangi

<sup>1</sup>fajaralam604@gmail.com, <sup>2</sup>charis@unibabwi.ac.id, <sup>3</sup>u.suryadhianto@gmail.com

**Abstract**—There are several types of plastic bottle waste that can be recycled with simple tools, one of which is Polyethylene Terephthalate (PET) plastic bottle waste. This research aims to design and build Arduino based filament force extruder and to build and determine the effect of temperature on the resulting filament. This experimental research method involves testing variations in voltage and temperature in the heating process of plate-shaped plastic at the nozzle hole on the heater block. Tests carried out on the filament extruder machine using 3 variations of voltage and heating temperature, namely 100°C, 110°C and 120°C. The results of the trial on the prototype filament-forming extruder successfully obtained that all components play their role according to their the function and heating temperature have a great impact on the shape of the plastic. When rectangular PET plastic is printed on the nozzle hole at a certain temperature, produces round filaments. Of the nine experiments, one break occurred in the pulling of plastic at the nozzle hole at a voltage variation of 10V with a temperature of 120 ° C, this was because the heater controller on the head block was less stable and the pulling of plastic was less consistent because it was still manual.

**Keywords** — Arduino, Extruder, Filamen

**Abstrak**—Ada beberapa jenis limbah botol plastik yang bisa didaur ulang dengan alat sederhana, salah satunya adalah limbah botol plastik jenis Polyethylene Terephthalate (PET). Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun extruder pembentuk filamen berbasis Arduino dan mengetahui pengaruh suhu terhadap filamen yang dihasilkan. Metode penelitian ini *experiment* melibatkan pengujian variasi tegangan dan suhu pada proses pemanasan plastik berbentuk plat pada lubang *nozzle* pada *heater block*, Pengujian yang dilakukan pada mesin extruder filamen menggunakan 3 variasi tegangan dan temperature suhu pemanas, yaitu 100 °C, 110 °C, dan 120 °C. Hasil uji coba pada *prototype extruder* pembentuk filamen berhasil didapatkan bahwa semua komponen berperan sesuai fungsinya dan Suhu *temperature* pemanas memiliki pengaruh signifikan terhadap bentuk plastik. Ketika plastik jenis PET berbentuk persegi Panjang dicetak pada lubang *nozzle* dengan suhu tertentu, menghasilkan filamen berbentuk bulat. Dari Sembilan kali percobaan terjadi satu kali putus dalam penarikan plastik pada lubang *nozzle* pada variasi tegangan 10V dengan suhu 120 °C, hal itu dikarenakan kontroler pemanas pada *head block* kurang stabil dan penarikan plastik kurang konsisten karena masih manual.

**Keywords** — Arduino, Extruder, Filamen

## I. Pendahuluan

Dampak limbah plastik meningkat setiap hari dengan banyaknya keperluan masyarakat. Limbah plastik dapat

mengakibatkan pencemaran lingkungan yang bisa merugikan masyarakat. Terlebih sampah plastik yang tidak dapat terurai memiliki kandungan bahan aktif yang tidak baik untuk lingkungan [1]. Hasil survei menampilkan volume sampah di Indonesia bertambah hingga 38 juta ton setiap tahun, dengan 30 persen dari limbah tersebut berasal dari plastik [2]. Terdapat berbagai kategori limbah plastik yang bisa didaur ulang, termasuk botol plastik yang dibuat dari Polyethylene Terephthalate (PET), yang memiliki nilai tambah setelah proses daur ulang [3].

Extruder filamen di fungsikan untuk mengubah sampah botol plastik jenis PET. Mesin ini berfungsi untuk mengubah limbah botol plastik PET menjadi filamen yang dapat digunakan dalam pencetakan 3D printer [4]. Teknologi 3D printer merupakan suatu inovasi dalam pembuatan objek yang dikendali oleh komputer. Proses ini dilakukan dengan metode mengompres serbuk atau filamen tanpa harus melalui pemesinan. Di sisi lain filamen dari printer 3D berfungsi sebagai material yang dipakai untuk membuat cetakan berdasarkan rancangan pada *software* [5].

Ekstruder merupakan mesin yang berfungsi untuk membentuk material pada suhu yang telah ditentukan, sehingga dapat mengubah objek tertentu hingga mencapai bentuk yang diinginkan. Proses ini terjadi ketika bahan tersebut dipanaskan oleh panas eksternal atau akibat gesekan, kemudian diolah dengan cara melewatinya melalui cetakan yang memiliki lubang *nozzle*. Hasilnya adalah material dengan penampang yang terformat sesuai spesifikasi yang diinginkan [6]. Bentuk penampang yang optimal dapat dicapai dengan penggunaan suhu pemanas yang tepat. Namun, jika suhu pemanas melebihi nilai yang ditargetkan, akan timbul masalah berupa tekstur penampang yang menjadi cair. Hal ini menyebabkan penampang tidak dapat terbentuk dengan baik [7].

Pada *extruder* yang membentuk filamen, terdapat *hotend* yang berfungsi sebagai pemanas, yang terdiri dari blok alumunium dan lubang *nozel*. Lubang *nozzel* berfungsi sebagai diameter keluaran dari material cair. Setiap lapisan dan suhu harus tetap stabil agar aliran material dapat sesuai [8].

Temperatur bisa dicapai melalui penghantaran panas di blok alumunium yang memiliki resistansi terkait daya masukan terhadap suhu dari pemanas yang diatur. Selain itu, pada blok alumunium terdapat sebuah sensor suhu yang berfungsi untuk membaca dan mengawasi perubahan suhu pada pemanas, sehingga panas yang dihasilkan tetap berada dalam batas suhu yang telah ditetapkan agar tercapai suhu yang stabil [9].

Suhu tinggi yang dihasilkan oleh *heater* memiliki dampak signifikan terhadap kualitas cetakan filamen, salah satunya bentuk filamen tidak bulat. Terjadi cacat pada bentuk cetakan ketika bahan mendingin selama proses pembentukan, yang mengakibatkan pengurangan dimensi objek, penyusutan, dan bahkan permukaan yang mengelupas. Hal ini mengakibatkan hasil cetakan tidak sesuai dengan yang diharapkan. Masalah ini muncul akibat perbedaan suhu selama proses pencetakan, yang terjadi ketika bahan meleleh pada heater dengan suhu tertentu. Oleh karena itu, penting untuk mengontrol suhu pada *extruder* agar proses pelelehan filamen di *nozzle block* aluminium dapat berlangsung dengan baik, sehingga dapat dihasilkan filamen yang berkualitas [10]. Standar diameter dan densitas filamen 3D yang umum digunakan sangat bergantung pada jenis material dan kebutuhan cetakan yang diinginkan. Sebagai contoh, filamen *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) yang diproduksi oleh 3DXTECH, sebuah pabrikan asal Amerika, memiliki diameter 1,75 mm dan densitas 1,05 g/cm<sup>3</sup>. Untuk mencetak dengan filamen ini, suhu *extruder* yang dianjurkan berkisar antara 220 °C hingga 260 °C [11]. *Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG) adalah modifikasi dari *Polyethylene Terephthalate* (PET), yang ditambahkan *glikol* pada tingkat molekuler. Modifikasi ini bertujuan untuk memberikan sifat kimia yang berbeda serta meningkatkan ketahanan material secara signifikan [12]. Filamen PETG memiliki diameter 1,75 mm dan densitas sebesar 1,27 g/cm<sup>3</sup>, serta memerlukan suhu *extruder* antara 220 °C hingga 250 °C [13]. Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) adalah salah satu jenis plastik yang dikenal karena sifatnya yang ringan, ekonomis, dan mudah diproduksi. Plastik ini memiliki titik leleh yang berkisar antara 85 °C hingga 250 °C. Contoh penggunaannya meliputi botol minuman, wadah makanan yang tahan terhadap suhu tertentu, serta serat sintetis dan berbagai aplikasi lainnya [14].

Berdasarkan permasalahan dan data-data yang disebutkan diatas, penulis bermaksud akan melakukan rancang bangun *prototype* dan membuat pemrograman pada *microcontroller* arduino serta pengujian *prototype extruder* pembentuk filamen yang mana alat ini akan diuji untuk mengetahui suhu dan tegangan berapa volt yang dapat membentuk limbah botol plastik menjadi filamen

## II. Metode Penelitian

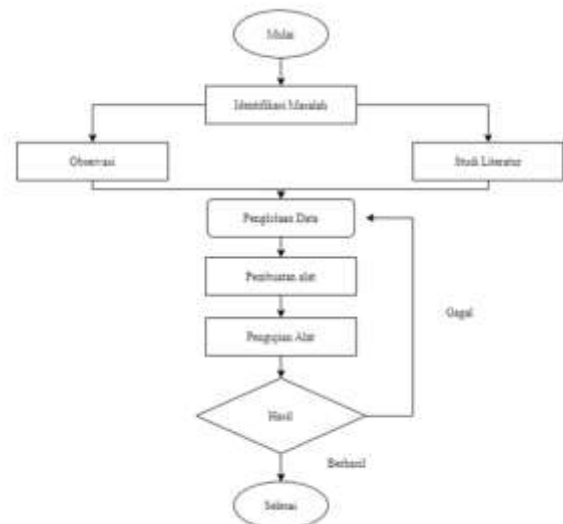
### A. Kerangka berfikir

Kerangka berpikir merupakan fondasi pemikiran yang meliputi penyatuan teori, fakta, pengamatan, serta tinjauan pustaka, yang selanjutnya akan digunakan sebagai dasar dalam penyusunan karya tulis ilmiah. Kerangka pemikiran ini bertujuan untuk mengkaji desain *extruder* filamen yang berbasis arduino.:



Gambar 1. Kerangka berfikir

Metode yang diterapkan dalam studi ini adalah pendekatan *experimen*. Pendekatan eksperimen adalah sebuah percobaan yang akan dilaksanakan secara terencana, terstruktur, dan diawasi dengan ketat, baik dalam bentuk desain fungsional maupun desain faktorial. Pendekatan eksperimen sangat krusial bagi ilmu pengetahuan karena memberikan kesempatan kepada para ilmuwan untuk menguji hipotesis dengan menggunakan bukti yang konkret [15].

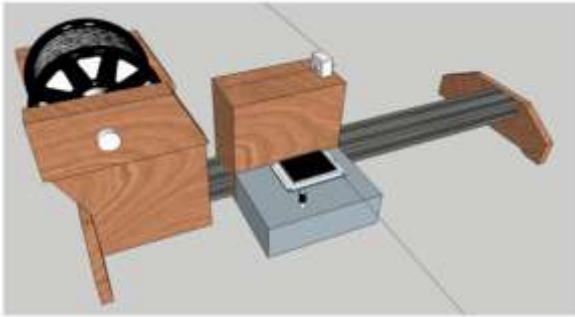


Gambar 2. Desain penelitian

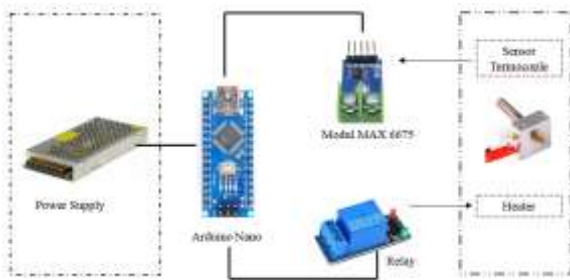
### B. Instrumen penelitian

Instrumen penelitian adalah bagian dari cara mengumpulkan data. Instrumen penelitian merupakan alat yang dimanfaatkan dalam metode pengumpulan data oleh peneliti untuk menilai hasil kajian yang dilakukan di prosedur penelitian ilmiah selanjutnya. Instrumen penelitian memiliki tujuan untuk memperoleh hasil dari pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Instrumen penelitian ini meliputi skema rangkaian, tata letak PCB, skema alat, dan desain 3D. Berikut

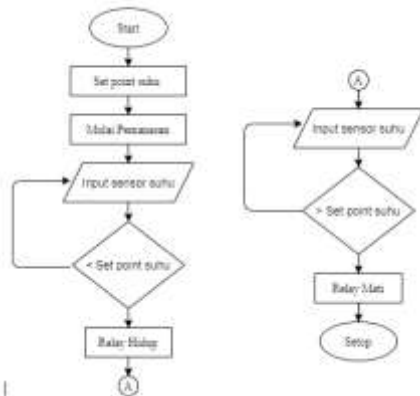
adalah gambar-gambar yang berkaitan dengan instrumen penelitian:



Gambar 3. Desain 3D Extruder Filamen



Gambar 4 Sekema alat



Gambar 5. Diagram alir sistem kerja prototipe

Pada langkah ini terdapat dua angka yang akan ditampilkan dalam tabel, yaitu nilai dari *thermogun* dan nilai dari sensor *thermocouple*. Kedua angka tersebut akan dianalisis dengan menggunakan galat sistematis. Pengujian galat dalam studi ini dilakukan dengan cara menghitung perbedaan antara hasil pengukuran nilai sensor dan nilai dari alat ukur. Berikut ini adalah rumus yang digunakan menghitung nilai galat.

$$Error = \left| \frac{[nilai\ sebenarnya] - [nilai\ terbaca]}{nilai\ sebenarnya} \right| \times 100\%$$

Menghitung persentase kesalahan merupakan langkah penting untuk menilai seberapa tepat sensor dan memutuskan apakah sensor tersebut dapat diandalkan. Persentase kesalahan yang

kecil menunjukkan bahwa sensor tersebut akurat, sedangkan persentase kesalahan yang besar menunjukkan bahwa sensor tersebut kurang tepat [16].

### III. Hasil dan Pembahasan

*Prototipe extruder* filamen yang dibuat terdiri dari sebuah bahan kayu dan aluminium dengan, panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm. *Prototipe* ini terdiri dari papan sirkuit cetak arduino nano, modul Max, sensor *thermokople*, dan modul penurun tegangan. Langkah pertama adalah menyambungkan sumber daya 12V 10A ke papan arduino, *powersupply* sebagai penyedia daya untuk mikrokontroler serta untuk memberikan *output* bagi perangkat seperti *relay*, modul MAX6675, layer LCD16X2, *heater* dan modul penurun tegangan. Setelah itu, papan Arduino disambungkan pada computer untuk melakukan pemrograman. Berikut adalah gambar *prototipe extruder* yang digunakan untuk membentuk filamen.



Gambar 6. Prototipe extruder

#### A. Hasil uji coba pada mesin extruder pembentukan filamen

Table 1 hasil uji tingkat error sensor thermocouple

Variasi tegangan 8V				
No.	Suhu Target	Nilai sebenarnya (Thermogun)	Nilai terbaca (Thermocouple)	Error %
1.	100°C	101°C	97°C	4,12%
2.	110°C	117°C	109°C	7,33%
3.	112°C	90°C	113°C	20,35%
Variasi tegangan 10V				
No.	Suhu Target	Nilai sebenarnya (Thermogun)	Nilai terbaca (Thermocouple)	Error %
1.	100°C	105°C	99°C	6,06%
2.	110°C	142°C	118°C	20,33%
3.	112°C	101°C	96°C	5,20%
Variasi tegangan 12V				
No.	Suhu Target	Nilai sebenarnya (Thermogun)	Nilai terbaca (Thermocouple)	Error %
1.	100°C	70°C	99°C	6,06%
2.	110°C	117°C	118°C	20,33%
3.	112°C	103°C	96°C	5,20%

Tabel di atas menunjukkan hasil uji tingkat *error* sensor. Terdapat 3 variasi tegangan yaitu 8V,10V dan 12V, masing-masing tegangan dilakukan pengujian menggunakan variasi suhu

100°C, 110°C, 120°C. Pada tabel 4.1 hasil ujicoba *error* sensor pada variasi tegangan 10V, terdapat persentase *error* kecil pada suhu 100°C, sebesar 4,12%. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi tegangan listrik dan arus listrik yang kurang sesuai, mengakibatkan pemanas dan sensor tidak bisa bekerja dengan maksimal sehingga suhu tidak terbaca dengan tepat oleh sensor.

Table 2 hasil ujicoba variasi tegangan dan suhu

variasi Tegangan 8V						
No.	Suhu Target	Tegangan Listrik	Waktu (Detik)	Arus (A)	Daya (W)	Panjang Filimen(cm)
1.	100°C	8V	103	1,38	11,04	12
2.	110°C	8V	84	1,38	11,04	12
3.	112°C	8V	73	1,38	11,04	12,5
variasi Tegangan 10V						
No.	Suhu Target	Tegangan Listrik	Waktu (Detik)	Arus (A)	Daya (W)	Panjang Filimen(cm)
1.	100°C	10V	100	2,9	29	12,5
2.	110°C	10V	85	2,9	29	13
3.	112°C	10V	71	2,9	29	9,5
variasi Tegangan 12V						
No.	Suhu Target	Tegangan Listrik	Waktu (Detik)	Arus (A)	Daya (W)	Panjang Filimen(cm)
1.	100°C	8V	118	2,77	33,24	11
2.	110°C	8V	112	2,77	33,24	12
3.	112°C	8V	62	2,77	33,24	14,5

Pada Tabel 4.5 filamen yang dihasilkan pada ke 3 variasi suhu terbentuk, namun variasi suhu 120°C mengalami putus ketika proses penarikan sepanjang 9,5 cm saat proses pemanasan berlangsung, dikarenakan panas yang terus naik walaupun *relay* sudah off.

**B. Pembahasan hasil uji coba extruder pembentuk filamen**

Variasi tegangan 8V.



Gambar 7. filamen yang dihasilkan variasi tegangan 8V

Berdasarkan Tabel 2 pada proses pengujian mesin *extruder* tahap pertama yaitu rangkaian dialiri tegangan listrik sebesar 8V, kemudian diketahui arus listrik yang terukur oleh digital ampermeter secara keseluruhan (*heater on*) sebesar 1,38A, perhitungan menggunakan persamaan  $P = V \times I$  daya yang dipakai sebesar 11.04W, waktu yang ditempuh pemanas untuk mencapai suhu target dan proses pembentukan filamen pada

suhu 100°C (103 detik, Panjang 12cm), 110°C (84 detik, Panjang 12cm), 120°C (73 detik, Panjang 12,5cm). Selisih waktu proses pembentukan filamen diakibatkan oleh factor suhu temperature dan penarikan secara manual.

Variasi tegangan 10V.



Gambar 8. filamen yang dihasilkan variasi tegangan 10V

Berdasarkan Tabel 4.5 pada proses pengujian mesin *extruder* tahap kedua yaitu rangkaian di aliri tegangan listrik sebesar 10V, kemudian diketahui arus listrik yang terukur oleh digital ampermeter secara keseluruhan (*heater on*) sebesar 2,9A, perhitungan menggunakan persamaan  $P = V \times I$  maka daya yang dipakai sebesar 29W, waktu yang ditempuh pemanas untuk mencapai suhu target dan proses pembentukan filamen pada suhu 100°C (100 detik, panjang 12,5cm), 110°C (85 detik, panjang 13cm), 120°C (60 detik, panjang 9,5cm). Selisih waktu dan panjang filamen diakibatkan oleh factor penarikan secara manual.

Pada saat pengujian menggunakan tegangan 10V menghabiskan daya listrik sebesar 29W, tetapi membutuhkan waktu sedikit lama dalam proses pembentukan filamen. Pada Tabel 2 filamen yang dihasilkan pada ke 3 variasi suhu terbentuk, namun variasi suhu 120°C mengalami putus ketika proses penarikan sepanjang 9,5 cm saat proses pemanasan berlangsung, dikarenakan panas yang terus naik walaupun *relay* sudah off.

Variasi tegangan 12V.



Gambar 9. filamen yang dihasilkan variasi tegangan 12V

Berdasarkan Tabel 2 pada proses pengujian mesin *extruder* tahap pertama yaitu rangkaian di aliri tegangan listrik sebesar 12V, kemudian diketahui arus listrik yang terukur oleh digital

ampermeter secara keseluruhan (*heater on*) sebesar 2,77A, perhitungan menggunakan persamaan  $P = V \times I$  maka daya yang dipakai sebesar 33,24W, waktu yang ditempuh pemanas untuk mencapai suhu target dan proses pembentukan filamen pada suhu 100 °C (118 detik, panjang 11cm), 110 °C (112 detik, panjang 12cm), dan 120 °C (62 detik, panjang 14,5cm) putus. Selisih waktu dan panjang filamen diakibatkan oleh faktor penarikan secara manual.

Pada Tabel 2 filamen yang dihasilkan pada ke 3 variasi suhu terbentuk, tidak mengalami putus ketika proses penarikan pada saat proses pemanas berlangsung. Dalam percobaan tersebut, menghasilkan filamen yang memiliki bentuk bulat utuh.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan uji coba *prototype* yang telah dilakukan, beberapa hasil bisa disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil riset pada sebuah *prototype extruder* pembentuk filamen. Uji coba berhasil dilakukan dan didapatkan bahwa semua komponen berperan sesuai fungsinya. Sensor *thermocouple* mampu mendeteksi suhu panas pada *head block* yang sudah ditentukan nilai *temperature* suhu dan mengirimkan sinyal menuju arduino nano. Tombol push *button* sebagai tombol untuk menentukan suhu target yang ditentukan. *Relay* sebagai saklar otomatis untuk mengaktifkan atau menonaktifkan *heater*. *Power supply* mampu memberi tegangan pada perangkat *prototype extruder* sehingga dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Layar LCD juga mampu menampilkan informasi mengenai nilai suhu target dan suhu yang terbaca oleh sensor pada *head block*.
2. Suhu temperatur pemanas memiliki pengaruh signifikan terhadap bentuk plastik. Ketika plastik jenis PET berbentuk persegi Panjang dicetak pada lubang *nozzle* dengan suhu tertentu. Variasi temperatur suhu pemanas yang digunakan, yaitu 100°C, 110°C dan 120°C menghasilkan filamen berbentuk bulat. Dari Sembilan kali percobaan terjadi satu kali putus dalam penarikan plastik pada lubang *nozzle* pada variasi tegangan 10V dengan suhu 120°C, hal itu dikarenakan kontroler pemanas pada *head block* kurang stabil dan penarikan plastik kurang konsisten karena masih manual.

#### V. Daftar Pustaka

- [1] M. I. Utami and D. E. A. Fitria Ningrum, "Proses Pengolahan Sampah Plastik di UD Nialdho Plastik Kota Madiun," *Indones. J. Conserv.*, vol. 9, no. 2, pp. 89–95, 2020, doi: 10.15294/ijc.v9i2.27347.
- [2] B. A. Septiani, D. M. Arianie, V. F. A. A. Risman, W. Handayani, and I. S. S. Kawuryan, "PENGELOLAAN SAMPAH PLASTIK DI SALATIGA: Praktik, dan tantangan," *J. Ilmu Lingkungan*, vol. 17, no. 1, p. 90, 2019, doi: 10.14710/jil.17.1.90-99.
- [3] H. Fikri, A. Subagja, and A. S. D. Manurung, "Karakteristik Aspal Modifikasi dengan penambahan Limbah Botol Plastik Polyethylene Terephthalate ( PET )," *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 10, no. 1, pp. 609–616, 2019.
- [4] M. Rasid, S. Suparjo, D. Tafrant, O. F. Homzah, and S. Ma'arif, "Analisa Pengaruh Kemiringan Sudut Screw Extruder Pada Proses Pembuatan Filament 3D Printer Pada Mesin Ekstrusi Single Screw," *Austenit*, vol. 14, no. 1 SE-, pp. 54–60, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal.polsri.ac.id/index.php/austenit/article/view/4445>
- [5] D. Sumardiyanto and S. Putra, "Alat pengolahan limbah filament 3D print dengan material polylactic acid (PLA)," *J. Kaji. Tek. Mesin Univ. 17 Agustus 1945 Jakarta*, vol. 6, no. 2, pp. 13–23, 2021.
- [6] M. F. A. R. Ghifari, S. Aisyah, and H. Toar, "Desain Mesin Filament Extruder," *J. Integr.*, vol. 14, no. 2, pp. 145–152, 2022, doi: 10.30871/ji.v14i2.4673.
- [7] T. Akhir, "PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUDER SINGLE SCREW UNTUK MENDAUR ULANG LIMBAH 3D PRINTING PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUDER SINGLE SCREW," 2022.
- [8] G. G. Arias, F. J. Díaz, E. R. Ramirez, and J. V. Guzman, "Thermal Analysis by Finite Elements of Hotends for 3D Printing by Fused Filament Fabrication," *Period. Polytech. Mech. Eng.*, vol. 65, no. 2, pp. 129–133, 2021, doi: 10.3311/PPme.16203.
- [9] R. Jerez-Mesa, G. Gomez-Gras, J. A. Travieso-Rodriguez, and V. Garcia-Plana, "A comparative study of the thermal behavior of three different 3D printer liquefiers," *Mechatronics*, vol. 56, pp. 297–305, 2018, doi: 10.1016/j.mechatronics.2017.06.008.
- [10] A. Alfajri and M. Muskhair, "Sistem Kontrol Temperatur Metode Pid Heatbed dan Ekstruder pada Printer Tiga Dimensi," *Ranah Res. J. Multidiscip. Res. Dev.*, vol. 5, no. 2, pp. 94–104, 2022, doi: 10.38035/trj.v5i2.462.
- [11] A. P. Agrawal, V. Kumar, J. Kumar, P. Paramasivam, S. Dhanasekaran, and L. Prasad, "An investigation of combined effect of infill pattern, density, and layer thickness on mechanical properties of 3D printed ABS by fused filament fabrication," *Heliyon*, vol. 9, no. 6, p. e16531, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e16531.
- [12] D. Taqdisillah, A. Z. Muttaqin, M. Darsin, D. Dwilaksana, and N. Ilminnafik, "The Effect of Nozzle Temperature, Infill Geometry, Layer Height and Fan Speed on Roughness Surface in PETG Filament," *J. Mech. Eng. Sci. Technol.*, vol. 6, no. 2, p. 74, 2022, doi: 10.17977/um016v6i22022p074.
- [13] I. M. Ivan and W. Cakra, "Characterization of FDM 3D Printed Parts Using TPU+PETG Filaments For Shin Guard Products," no. February, 2024.
- [14] A. F. Ikhsanudin, P. H. Tjahjanti, A. Fahrudin, A. Akbar, and R. E. Fernanda, "Pengkajian Briket dari Campuran Sampah Botol Jenis PET dan Bahan Natural Dengan Perekat Kanji," *Justek J. Sains dan Teknol.*, vol. 5, no. 2,

- 
- p. 73, 2022, doi: 10.31764/justek.v5i2.9971.
- [15] R. Akbar, R. A. Siroj, M. Win Afgani, and Weriana, "Experimental Research Dalam Metodologi Pendidikan," *J. Ilm. Wahana Pendidik.*, vol. 9, no. Vol 9 No 2 (2023): Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan, pp. 465–474, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.peneliti.net/index.php/JIWP/article/view/3165>
- [16] L. H. Nggala, N. Nachrowie, and S. Subairi, "Implementasi Metode Proportional Integral Derivative (PID) Ziegler Nichols pada Kontrol Mesin Penyangrai Biji Kopi," *Energy - J. Ilm. Ilmu-Ilmu Tek.*, vol. 13, no. 1, pp. 16–27, 2023, doi: 10.51747/energy.v13i1.1209.