

**JURNAL TEKNIK INDUSTRI  
MANAJEMEN DAN MANUFAKTUR  
JURNAL TEKNIK INDUSTRI  
UNIVERSITAS PROKLAMASI 45**

<https://ejournal.up45.ac.id/index.php/jtim>

**PERANCANGAN ALAT DAUR ULANG LIMBAH  
FILAMENT 3D PRINTING JENIS PLA/PLA+ SEBAGAI  
BAHAN BAKU PRODUKSI OBJEK 3D**

**Jus Baru Masa Lindo<sup>1</sup>, Syaiful Mansyur<sup>1</sup>, Muchamad Malik<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik industri, Fakultas Teknik, Universitas Proklamasi 45  
Email Koresponden : jmasalindo@gmail.com

**ABSTRAK**

Teknologi pencetakan tiga dimensi (3D printing) berkembang pesat dalam berbagai industri, memungkinkan pembuatan objek presisi tinggi dalam waktu singkat. Namun, penggunaan teknologi ini juga menghasilkan limbah filament 3D yang tidak terurai alami, menyebabkan dampak lingkungan negatif. Solusinya adalah mendaur ulang limbah filament 3D menjadi bahan baku kembali dalam proses 3D printing. Masalah limbah plastik diperparah oleh pencetakan 3D yang populer, meningkatkan jumlah limbah plastik. Pencetakan 3D ekstrusi material, bagian dari manufaktur aditif (AM), digunakan secara luas. Salah satu jenis filament 3D umumnya *Polylactic Acid (PLA/PLA+)*, yang ramah lingkungan karena dapat didaur ulang. Penelitian ini fokus pada dampak variasi suhu dalam proses daur ulang pada sifat fisik dan mekanik filament daur ulang PLA/PLA+. Hasil penelitian menunjukkan suhu 135°C-150°C dengan pemanasan selama 30 menit dan putaran motor 75 rpm menghasilkan hasil terbaik.

Kata kunci : *3D Printing, Filament, Daur Ulang, Polylactic Acid (PLA/PLA+), Suhu Proses*

**ABSTRACT**

*The rapid development of Three-Dimensional (3D) printing technology is occurring across various industries, enabling the creation of high-precision objects in a short amount of time. However, the utilization of this technology also generates non-biodegradable 3D filament waste, leading to negative environmental impacts. The solution lies in recycling the 3D filament waste into reusable raw materials for the 3D printing process. The issue of plastic waste is exacerbated by the popularity of 3D printing, which increases the volume of plastic waste. Extrusion-based 3D printing, a component of Additive Manufacturing (AM), is widely employed. One common type of 3D filament is Polylactic Acid (PLA/PLA+), known for being environmentally friendly due to its recyclable nature. This research focuses on the impact of temperature variations in the recycling process on the physical and mechanical properties of recycled PLA/PLA+ filaments. The research results indicate that a temperature range of 135°C to 150°C, with heating for 30 minutes and a motor rotation speed of 75 rpm.*

**Keywords:** *3D Printing, Filament, Recycling, Polylactic Acid (PLA/PLA+), Process Temperature.*

**Diterima Redaksi:**  
10/7/2024

**Selesai Revisi:**  
18/10/2024

**Diterbitkan Online:**  
01/10/2024

## 1. PENDAHULUAN

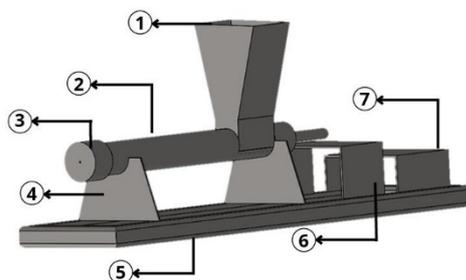
Masalah daur ulang limbah plastik kemudian diperparah oleh popularitas pencetakan 3D, sehingga jumlah limbah plastik yang signifikan dan meningkat yang dihasilkan oleh printer 3D dibuang di tempat pembuangan sampah di seluruh dunia (Meijer et al., 2021). *Filament* 3D yang paling umum digunakan dalam teknologi cetakan 3D adalah *Polylactic Acid* (PLA/PLA+), yang terbuat dari bahan baku alami seperti jagung dan pati. PLA/PLA+ adalah bahan yang ramah lingkungan karena mudah terurai dan dapat didaur ulang menjadi bahan baku alternatif yang dapat digunakan kembali dalam produksi objek 3D (Didit Sumardiyanto & Setiawan Putra, 2021). Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas limbah daur ulang *filament* PLA/PLA+ adalah suhu. Suhu yang berbeda dalam proses daur ulang dapat memengaruhi sifat fisik dan mekanik *filament* yang dihasilkan (Banjaransari et al., 2020). Oleh karena itu, penting untuk menganalisis pengaruh variasi suhu pada limbah daur ulang *filament* 3D printing jenis PLA/PLA+ terhadap kualitas bahan baku dan produk akhir. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan sifat fisik dan mekanik *filament* daur ulang PLA/PLA+ akibat variasi suhu dalam proses daur ulang.

Teknik daur ulang adalah proses mengolah kembali bahan-bahan bekas menjadi bahan baru agar dapat digunakan kembali. Teknik daur ulang bertujuan untuk mengurangi jumlah limbah yang dibuang ke lingkungan dan meminimalkan penggunaan sumber daya alam yang terbatas. Proses ini berfungsi untuk menghasilkan sebuah produk baru yang dapat digunakan kembali. Permintaan plastik terus meningkat hal ini mengakibatkan adanya peningkatan jumlah sampah plastik. Hal ini disebabkan adanya produk plastik sekali pakai yang setelah digunakan, berakhir di tempat pembuangan sampah dan lautan. Daur ulang limbah plastik pasca-konsumen membutuhkan peningkatan dalam teknologi saat ini untuk mencapai dekontaminasi lengkap dan penghilangan zat berbau busuk yang tertanam dalam polimer. *Polylactic Acid* atau PLA adalah sejenis plastik yang umum digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan kemudahan modifikasi, kekakuan, dan kejernihan. Berbeda dengan sebagian besar plastik lainnya, PLA terbuat dari sumber daya terbarukan seperti pati jagung atau tebu, dan sepenuhnya bisa terurai di dalam kompos. Karakteristik ini menjadikan PLA sebagai alternatif yang baik untuk masa depan yang berkelanjutan. Selain itu, PLA adalah termoplastik yang berarti dapat dipanaskan hingga titik leburnya, didinginkan, dan dipanaskan ulang tanpa mengalami degradasi yang signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan sifat fisik dan mekanik *filament* daur ulang PLA/PLA+ akibat variasi suhu dalam proses daur ulang (Babagowda et al., 2018).

## 2. METODE PENELITIAN

### a. Desain alat

Desain alat pada penelitian ini mencakup aspek teknis, fisik, dan metodologis dari alat yang akan digunakan. Tujuannya adalah agar memastikan bahwa alat yang dirancang dapat berfungsi dengan baik, memberikan data yang akurat dan reliabel, serta mendukung pencapaian tujuan penelitian

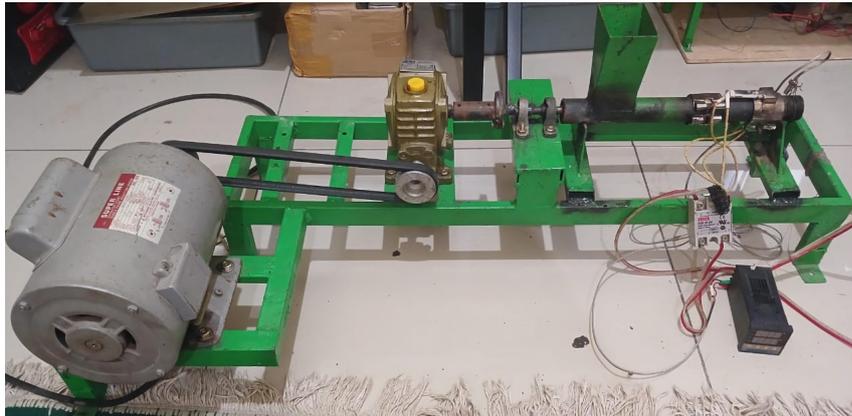


**Gambar 1.** Perancangan Alat

Alat Pengolahan Limbah Filament 3D Print *Polylactic Acid Plus* (PLA/PLA+) yang dilengkapi dengan keterangan fungsi sebagai berikut (Gambar 1) :

- 1) *Hopper* : Fungsi *hopper* adalah sebagai wadah untuk menyimpan dan memberikan bahan atau substansi ke barrel.

- 2) *Barrel* (Tabung): Fungsinya adalah sebagai wadah untuk bahan atau material limbah yang akan diproses pada saat melakukan pelelehan limbah.
- 3) *Nozzle* (Nozel): Fungsi *nozzle* adalah untuk mengarahkan aliran bahan atau yang akan diproses keluar dari barrel.
- 4) *Barrel support* : Memiliki fungsi sebagai penyangga atau penopang dari barrel.
- 5) *Base Plate* (Pelat Dasar): Fungsi *base plate* adalah sebagai dasar atau fondasi untuk mendukung mesin atau perangkat memberikan stabilitas dan posisi yang tepat untuk komponen-komponen yang terpasang di atasnya.
- 6) *Bearing Support* : Fungsinya untuk menahan dan melindungi bantalan dalam perangkat. Ini memastikan kinerja yang optimal dan masa pakai yang lebih lama.



Gambar 2. Alat ekstruder filamen

#### Kapasitas alat ekstrusi filamen

Dalam penelitian ini, kapasitas ekstruksi plastik menjadi filamen direncanakan 15kg/jam dengan mempertimbangkan alat ini digunakan untuk uji coba skala laboratorium. Kapasitas dihitung dengan rumus

$$Q = \left(\frac{\pi}{4}\right) D^2 \times S \times n \times \rho \times 3600 \quad (1)$$

#### Penentuan diameter *Screw*

*Screw* berfungsi sebagai sarana untuk mentransfer material dari input material melalui hopper menuju ke molding *nozzle* yang kemudian dicetak menjadi bentuk filamen. Formulasi untuk menghitung diameter *screw* (Sibarani et al., 2018)

$$D = \sqrt[3]{\frac{(4 \times Q)}{60 \times \pi \times S \times n \times \rho \times C}} \quad (2)$$

#### Torsi yang ditransmisikan

$$M_o = \frac{102 \times N_o}{2\pi n} \quad (3)$$

#### Daya motor listrik yang dibutuhkan

$$N_o = \frac{Q \times L \times W_o}{367} - \sin\beta \quad (4)$$

Daya Heater

$$Q = \frac{m \times C \times \Delta t}{860 \times t \times n} \tag{5}$$

Dengan demikian, Rancangan alat dalam penelitian ini memiliki komponen dan spesifikasi digunakan dalam proses daur ulang limbah *filament* sesuai dengan formulasi-formulasi (1), (2), (3), (4), dan (5) diatas. Komponen-komponen alat ini telah disesuaikan untuk mencapai hasil yang optimal dalam menghasilkan *filament* hasil daur ulang dari limbah cetakan 3D dengan bahan baku PLA/PLA+. Rincian komponen alat dan spesifikasi yang digunakan dalam penelitian ini terdapat pada Tabel 1

**Tabel 1.** Komponen dan Spesifikasi alat

No.	Nama Komponen	Material Komponen	Spesifikasi
1.	<i>Barrel</i>	Pipa Besi <i>Seamless</i>	OD 31 mm - ID 25 mm
2.	<i>Screw</i>	DCK Mata Bor Beton	<i>SDS Plus</i> 20 mm - 350 mm
3.	Motor Penggerak <i>Screw</i>	Dinamo AC 1 Phase ½ HP	1450 RPM
4.	Reduksi Kecepatan Motor	<i>Reducer WPA</i> 40	Rasio 1:60
5.	Pemanas	<i>Band Heater</i>	220 Volt - 100 Watt
6.	Bantalan	<i>Pillow Block Bearing</i>	10 - 40 mm <i>Shaft</i>
7.	Sistem Kendali Beban Listrik	<i>Fotek Solid State Relay</i>	Fotek SS 25 DC to AC
8.	Sensor pengukur suhu	<i>Thermo Couple</i>	<i>Type K</i>
9.	Kontrol suhu	<i>Temperature Controller</i>	<i>E508-A EWIG</i>
10.	<i>Nozzle</i>	Besi Kuningan	Ø 31 mm

Desain alat yang telah disusun dengan cermat dan mengintegrasikan komponen-komponen khusus dengan spesifikasi yang sesuai diharapkan dapat memberikan solusi yang efektif dalam mengatasi permasalahan limbah plastik dari limbah cetakan 3D berbahan baku PLA/PLA+.

Penggunaan pipa besi *seamless* pada *barrel* dan mata bor beton pada *screw* sebagai komponen utama dalam peleburan dan ekstrusi limbah *filament* merupakan pilihan yang tepat untuk memastikan kualitas dan ketahanan alat selama proses daur ulang. Penambahan motor penggerak dengan spesifikasi yang terukur memberikan fleksibilitas dalam mengatur kecepatan putaran *screw*, sehingga proses daur ulang dapat disesuaikan dengan berbagai jenis limbah *filament* dan kondisi operasional yang berbeda (Noor & Triyono, 2020).

Komponen pemanas *band heater* dengan daya dan tegangan yang tepat sangat penting untuk memastikan suhu yang optimal selama proses daur ulang selama mencairkan limbah *filament* menjadi bentuk *filament* yang baru (Fajar Ar Rakhman et al., 2022).

Pentingnya kontrol suhu dan pemantauan suhu dalam proses daur ulang terpenuhi dengan penggunaan sensor pengukur suhu tipe *thermocouple Type K* dan kontrol suhu yang dapat diandalkan. Suhu yang konsisten dan terjaga dengan baik berkontribusi dalam menghasilkan *filament* hasil daur ulang yang baik pula. Keseluruhan komponen dan spesifikasi yang tercantum pada Tabel 1 memperlihatkan perencanaan yang matang dalam merancang alat daur ulang limbah *filament* PLA/PLA+. Kualitas dan ketepatan pemilihan komponen diharapkan dapat mencapai hasil daur ulang yang optimal dan berdampak positif dalam pengurangan limbah plastik serta pemeliharaan lingkungan (Didit Sumardiyanto & Setiawan Putra, 2021).

### b. Proses Produksi Limbah Filamen

Tahap produksi limbah *filament* diawali dengan melakukan pemilahan bahan baku atau proses pemisahan warna yang ada pada limbah dengan karakteristik warna yang sama. Bahan baku yang digunakan berbentuk cacahan kecil dengan tujuan memudahkan proses daur ulang berlangsung agar mudah didorong oleh *screw conveyor* menuju nozel. Bahan baku memiliki ukuran maksimal 1 cm dengan ketebalan 3 mm dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Contoh Bentuk Cacahan Limbah *Filament*

### 3. Hasil dan Pembahasan

Perancangan mesin ekstruksi limbah filamen terdiri dari beberapa langkah. Pertama, melakukan review dari beberapa jurnal referensi dan melakukan desain alat dengan menggunakan *software 3D*, selanjutnya adalah membuat alat yang sesuai dengan konsep yang telah dianalisis sebelumnya. Kemudian melakukan percobaan alat untuk melihat hasil filamen yang di dapatkan

#### Suhu 140 -150°C

Percobaan pertama tahapan daur ulang dilakukan dengan memanaskan terlebih dahulu barrel hingga mencapai suhu stabil atau konsisten pada suhu 140 -150°C. Untuk mencapai suhu tersebut diperlukan waktu selama selama 30 menit sebelum akhirnya barrel siap digunakan untuk tahapan uji coba. Hasil yang diperoleh filamen dapat terbentuk seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Uji Coba suhu 140 -150°C.

#### Suhu 155 -170°C

Dalam kisaran suhu antara 155°C - 170°C, terjadi perubahan bentuk pada limbah *filament* yang berubah menjadi cairan kental. Bentuk cairan yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 5.



**Gambar 5.** Uji Coba suhu 155 -170°C.

**Suhu 175 -190°C**

Kemudian pada kisaran suhu antara 175°C - 190°C, terjadi perubahan bentuk pada limbah *filament* yang semakin kental dengan warna yang lebih pekat dari percobaan pada rentang suhu sebelumnya. Bentuk cairan yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 6.



**Gambar 6.** Uji Coba suhu 175 -180°C.

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, Tabel 2 menunjukkan perbandingan suhu dengan warna filamen dan hasil filamen yang diperoleh

**Tabel 2.** Hasil Analisis Percobaan pada varian suhu ekstruksi

<b>Revolutions Per Minute (RPM)</b>	<b>Suhu (°C)</b>	<b>Waktu (Menit)</b>	<b>Warna Filament (HEX)</b>	<b>Diameter (mm)</b>
75	135 – 150	30	#A88156	1.8 mm
	155 – 170		#030301	Tidak Beraturan
	175 – 190		#0B0803	

**4. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian alat yang dilakukan serta data yang diperoleh dari maka, disimpulkan sebagai berikut :

1. Alat ekstruksi limbah filament dapat bekerja untuk membuat filament,
2. Hasil produksi filamen akan mengalami cacat apabila dikenakan suhu proses pemanasan yang tinggi.
3. Dari hasil pengamatan menunjukkan hubungan antara suhu mempengaruhi variasi warna dan bentuk *filament* yang dihasilkan.

**5. Daftar Pustaka**

Babagowda, Kadadevara Math, R. S., Goutham, R., & Srinivas Prasad, K. R. (2018). Study of Effects on Mechanical Properties of PLA Filament which is blended with Recycled PLA Materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 310(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/310/1/012103>

Banjaransari, A., Agape Sanjaya, I., Kartika Nusabhakti, I., Paramarta Kusuma, T., Kun Cahyo Utomo, A., & Studi Teknik Mesin Industri, P. (2020). PERANCANGAN MESIN PENGULUNG FILAMEN PLA DIAMETER 1.75 MM DARI HASIL EKSTRUSI PLASTIK. *IMDeC (Industrial and Mechanical Design Conference)*, 2, 44–50.

Didit Sumardiyanto, & Setiawan Putra. (2021). ALAT PENGOLAHAN LIMBAH FILAMENT 3D PRINTDENGAN MATERIAL POLYLACTIC ACID (PLA). *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 6(2).

Fajar Ar Rakhman, M. G., Aisyah, S., Toar, H., Studi Mekatronika, P., Elektronika Politeknik Negeri Batam, J., Ahmad Yani, J., Tik Tering, K., Batam Kota, K., Batam, K., & Kepulauan, P. (2022). Desain Mesin Filament Extruder. *Jurnal Integrasi* |, 145(2), 2548–9828.

Meijer, L. J. J., van Emmerik, T., van der Ent, R., Schmidt, C., & Lebreton, L. (2021). More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. *Science Advances*, 7(18). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz5803>

Noor, N., & Triyono, B. (2020). Perancangan Mesin Injeksi Plastik Portabel. *Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 26–27.

Sibarani, M., Allan, M. P., & Santika, P. M. (2018). Perancangan unit Extruder pada Mesin Extrusion Lamination Flexible Packaging. *JURNAL TEKNIK MESIN – ITI*, 2(2).