

RANCANG BANGUN MESIN DAUR ULANG LIMBAH BOTOL PLASTIK MENJADI FILAMEN DENGAN METODE PULTRUSI

Rizky Wirantara

*Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia,
Yogyakarta, Indonesia*

**Email: 191002108@uii.ac.id*

ABSTRAK

Penelitian ini membahas rancang bangun mesin pultrusi untuk pengolahan limbah botol plastik *polyethylene terephthalate* (PET) menjadi filamen *3D Printer*. Mesin ini dilengkapi penggerak motor untuk penggulungan filamen dan pemanas *nozzle* yang dapat diatur suhunya maksimal 120°C. Mulanya botol plastik diubah menjadi pita panjang, kemudian dipanaskan dan ditarik melalui *nozzle* panas untuk membentuk filamen. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji pengaruh suhu *nozzle* dan kecepatan putar terhadap diameter dan kualitas filamen. Berdasarkan literatur, menetapkan suhu *nozzle* 220°C dan kecepatan 30 rpm, namun terdapat potensi untuk mengoptimalkan parameter tersebut untuk menghindari degradasi material atau filamen yang terlalu cair. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin pultrusi mampu menghasilkan filamen dengan diameter 1.75-2mm yang sesuai untuk *3D Printer*. Parameter optimal ditemukan pada suhu 120°C dan kecepatan 30 rpm, menghasilkan filamen dengan diameter konsisten (1,86-1,88 mm) dan kualitas yang baik tanpa cacat. Penelitian ini menunjukkan bahwa rancang bangun mesin pultrusi merupakan alternatif daur ulang botol plastik menjadi material ramah lingkungan dengan potensi besar untuk filamen *3D Printer*.

Kata kunci: botol plastik, *polyethylene terephthalate* (PET), mesin pultrusi, filamen, *3d printing*

ABSTRACT

This study discusses the design and development of a pultrusion machine for recycling polyethylene terephthalate (PET) plastic bottle waste into 3D printer filament. The machine is equipped with a motor-driven filament winder and a nozzle heater with a maximum adjustable temperature of 120°C. Initially, plastic bottles are transformed into long strips, heated, and drawn through a heated nozzle to form filament. The aim of this research is to examine the effects of nozzle temperature and winding speed on filament diameter and quality. Based on the literature, a nozzle temperature of 220°C and a speed of 30 rpm were established as initial parameters; however, there is potential to optimize these parameters to prevent material degradation or overly liquid filament. The results indicate that the pultrusion machine can produce filaments with a diameter of 1.75–2 mm, suitable for 3D printing. The optimal parameters were found at a temperature of 120°C and a speed of 30 rpm, resulting in consistent filament diameters (1.86–1.88 mm) and good quality without defects. This study demonstrates that the design and development of a pultrusion machine offer an alternative for recycling plastic bottles into environmentally friendly materials with great potential as 3D printer filaments.

Keywords: plastic bottles, *polyethylene terephthalate* (PET), pultrusion machine, filament, *3D printing*

PENDAHULUAN

Sampah seperti botol plastik merupakan bagian yang tidak terhindarkan dari kehidupan manusia. Menurut data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) pada tahun 2022, timbulan sampah mencapai 36 juta ton, dengan 18% di antaranya merupakan sampah plastik. Volume sampah plastik di kota Yogyakarta cukup tinggi, yakni hingga mencapai 20% dari total 257-ton sampah yang diangkut ke TPST Piyungan setiap hari Botol plastik menjadi ancaman terhadap bencana lingkungan. (Rahmatullah, 2023).

Berbagai pemanfaatan limbah botol PET yang dilakukan oleh beberapa peneliti seperti dimanfaatkan untuk produk wadah perlengkapan rumah tangga (Franzia, 2014). Salah satu bahan yang dapat diolah dengan efektif menggunakan hot textile adalah plastik (Hanifah dan Arumsari, 2020). Keunggulan dari plastik jenis PET adalah kemampuannya untuk didaur ulang menjadi berbagai macam produk yang memiliki nilai ekonomis, seperti filamen, mainan, perabotan, dan souvenir (Sofiana, 2010).

Botol plastik PET dipilih karena sifatnya yang termoplastik, mudah meleleh, dan mudah dibentuk kembali. Selain itu, sifat elastisnya membuatnya cocok sebagai bahan baku untuk mencetak objek 3D menggunakan mesin printer 3D (Mikula dkk., 2021). Teknologi 3D printer (additive manufacturing) adalah sebuah inovasi terbaru di bidang industri manufaktur. Dalam proses pencetakan 3D, digunakan bahan baku filamen berjenis Polylactid Acid (PLA) karena memiliki sifat mekanik yang kaku dan kuat, sehingga sangat cocok untuk digunakan (Valerga dkk., 2018).

Ada beberapa metode yang bisa digunakan untuk mengolah plastik menjadi filamen, salah satunya adalah Metode Pultrusi digunakan dalam pembuatan filamen ini karena menghasilkan tingkat diameter filamen yang seragam dibandingkan dengan menggunakan metode ekstrusi (Minchenkov dkk., 2021). Prinsip kerja alat ini adalah nozzle yang dilubangi khusus sehingga memungkinkan proses pultrusion filamen dengan diameter 1,75 (Tylman & Dzierżek, 2020). Blok pemanas memanaskan pita plastik yang dilewatkan melaluiinya hingga meleleh, kemudian dibentuk oleh nozel menjadi filamen. Suhu yang diperlukan untuk memanaskan blok telah dipilih secara eksperimental dan ditetapkan pada 220°C, sementara kecepatan penggulungan filamen adalah 30 rpm (Taufik dkk., 2023).

Berangkat dari hal tersebut peneliti akan merancang bangun mesin yang dapat mengolah limbah botol plastik PET menjadi Filamen. Filamen adalah bahan yang digunakan dalam membuat suatu prototype dari model 3D (Mirón dkk., 2017). Mesin menggunakan metode Pultrusi, sederhananya mesin ini memiliki penggerak motor untuk menggulung filamen, dan

memiliki pemanas yang bisa di setting parameter suhunya, pemanas tersebut untuk memanaskan *nozzle* dengan ukuran 1.75-2mm sebagai alat bantunya. Mulanya botol plastik diubah menjadi pita yang panjang, kemudian pita tersebut dimasukan melewati Nozzle yang sudah panas dengan ditarik oleh penggulung filamen.

Data yang akan diteliti adalah pengaruh parameter *nozzle* dan kecepatan putar terhadap hasil pultrusi botol plastik mencakup diameter filamen dan kondisi filamen. Perlu diketahui terdapat pernyataan "Suhu yang diperlukan untuk memanaskan blok telah dipilih secara eksperimental dan ditetapkan pada 220°C, sementara kecepatan penggulungan filamen adalah 30 rpm.". Dari pernyataan tersebut terdapat potensi untuk mengevaluasi ulang suhu *nozzle* yang ditetapkan 220°C, apakah suhu setinggi ini bisa menghasilkan filamen yang baik, atau justru menimbulkan resiko seperti degradasi material atau keluarnya filamen yang terlalu cair, yang bisa mempengaruhi kualitas. Kecepatan 30 rpm akan menjadi dasar pengaturan kecepatan pada penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis yang saling berkaitan. Tahap pertama dimulai dengan identifikasi permasalahan yang akan diteliti, khususnya terkait pemanfaatan limbah botol plastik. Setelah permasalahan teridentifikasi, dilakukan tinjauan pustaka untuk mencari kajian-kajian terdahulu tentang pemecahan permasalahan serupa, terutama yang berkaitan dengan pengolahan limbah botol plastik.

Tahap selanjutnya adalah observasi alat, yaitu proses pengumpulan alat dan bahan yang diperlukan dalam pembuatan mesin pultrusi filamen. Setelah semua komponen tersedia, dilakukan proses pembuatan mesin pultrusi filamen dengan menyatukan komponen-komponen yang telah disiapkan menjadi satu kesatuan mesin yang utuh.

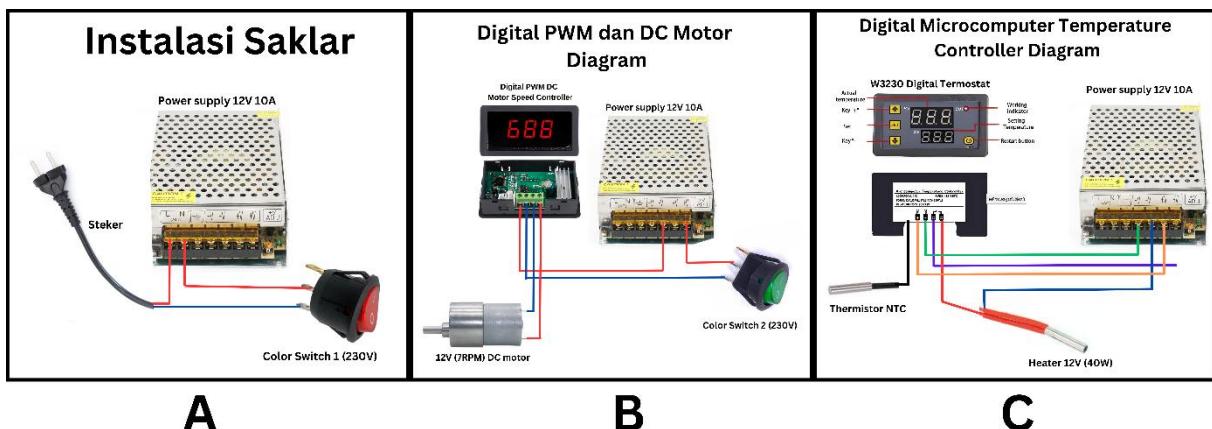
Setelah mesin selesai dibuat, dilakukan analisa hasil untuk menguji kinerja mesin pultrusi. Pada tahap ini dievaluasi apakah filamen yang dihasilkan sudah optimal dan memenuhi standar untuk dapat dicetak menggunakan mesin 3D printer. Tahap terakhir adalah penyusunan kesimpulan dan saran berdasarkan hasil dari seluruh proses rancang bangun mesin yang telah dilakukan, sehingga diperoleh kesimpulan yang komprehensif mengenai keberhasilan penelitian ini.

Alat yang digunakan untuk membangun mesin pultrusi yaitu: Mesin 3D Printing, Cutter, Mesin Drill, Solder dan Gunting. Bahan yang digunakan: papan MDF/PVC tebal 1 cm, *Heater*

Block, PSU 12V, Sensor suhu, Ceramic Cartridge, DC Motor Speed Controller, Saklar 12V, Electric DC Gearbox, Filamen, botol plastik bekas, kabel, nozzle, dan baut.

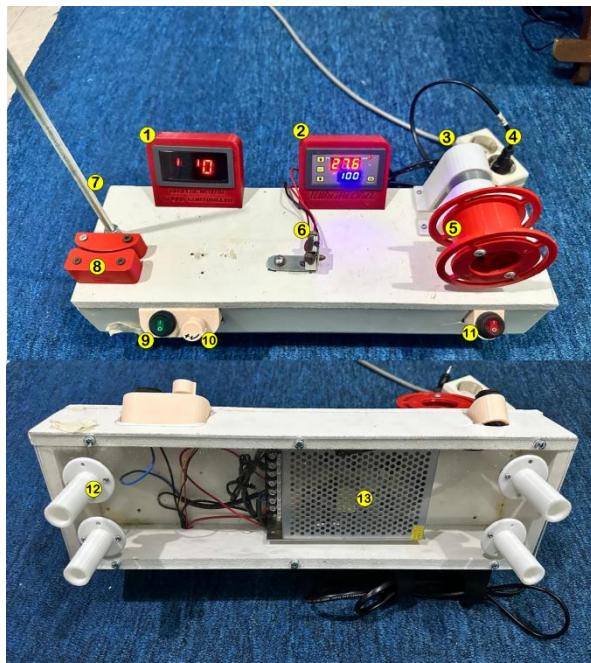
Langkah-langkah pembuatan Mesin Pultrusi botol plastik, Berikut adalah tahapan pembuatan mesin pultrusi filamen:

1. Siapkan beberapa potong papan PVC dengan ukuran 44x13,5cm berjumlah satu, 44x6cm berjumlah dua, dan 11,5x6cm berjumlah dua.
2. Print 3D part untuk *cover motor DC*, *cover color switch*, *cover Thermostat*, penggulung filamen, kaki-kaki dan pemotong botol.
3. Buatlah rangkaian instalasi saklar, *digital PWM* dan *DC motor*, dan *digital microcomputer temperature controller* gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. a. Instalasi saklar, b. *digital PWM* dan *DC motor*, dan c. *digital microcomputer temperature controller*

Mesin ini memiliki penggerak motor DC untuk menggulung filamen, dan memiliki pemanas yang bisa di setting parameter suhunya melalui alat digital thermostat yang memiliki temperatur maksimal 120°C, pemanas tersebut untuk memanaskan *nozzle* dengan ukuran lubang ekstrusi 1.75 sebagai komponen utama proses pultrusi. Mulanya botol plastik diubah menjadi pita yang panjang menggunakan *cutter*, kemudian pita tersebut dimasukan melewati lubang nozzle yang sudah panas dengan ditarik oleh penggulung filamen. Adapun spesifikasi mesin pultrusi bisa dilihat pada gambar 2 dan dijelaskan pada tabel 1.



Gambar 2. Mesin Pultrusi Botol Plastik

Dalam tabel 1 dibawah ini merupakan spesifikasi mesin pultrusi botol plastik sesuai nomor yang tertera pada gambar 2.

Tabel 1. Spesifikasi mesin pultrusi botol plastik

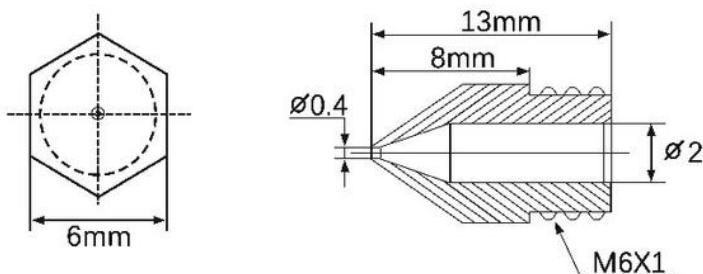
No	Nama Komponen	Spesifikasi
1	<i>Digital motor speed controller</i>	<i>CCM5D Digital PWM 8A 6-30V LED Dimmer</i>
2	<i>Thermostat digital</i>	Model : W3230 Temperature Controller <i>Input Voltage</i> : DC 12V & AC 220V
3	<i>Electric DC Gearbox</i>	37mm 12V 7 RPM Motor
4	Kabel steker	Isi 2 kabel, Panjang 1.5 meter
5	Penggulung Filamen	<i>custom 3d printing</i>
6	<i>Block Heater & Nozzle</i>	Nozzle diameter 1.75-2mm
7	<i>Shaft</i> botol plastik	Tinggi \pm 32cm, diameter 6mm
8	Alat potong botol plastik	Pengubah botol plastik menjadi pita botol plastik dengan lebar 8mm, <i>custom 3d printing</i>
9	Saklar motor	<i>Switch Round ON-OFF Waterproof</i> 12V
10	Kontrol kecepatan	Menyambung langsung dengan <i>digital motor speed controller</i>
11	Saklar ON/OFF mesin	<i>Switch Round ON-OFF Waterproof</i> 12V
12	Kaki mesin pultrusi botol plastik	<i>custom 3d printing</i> berjumlah 4pcs
13	Power supply	12V 10A 120W

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diteliti adalah pengaruh parameter *nozzle* dan kecepatan putar terhadap hasil pultrusi botol plastik mencakup diameter filamen dan kondisi filamen. Perlu diketahui terdapat pernyataan "Suhu yang diperlukan untuk memanaskan blok telah dipilih secara eksperimental dan ditetapkan pada 220°C, sementara kecepatan penggulungan filamen adalah 30 rpm". Dari

pernyataan tersebut terdapat potensi untuk mengevaluasi ulang suhu *nozzle* yang ditetapkan 220°C, apakah suhu setinggi ini bisa menghasilkan filamen yang baik, atau justru menimbulkan resiko seperti degradasi material atau keluarnya filamen yang terlalu cair, yang bisa mempengaruhi kualitas. Kecepatan 30 rpm akan menjadi dasar pengaturan kecepatan pada penelitian ini.

Diameter filamen dipasaran memiliki ukuran 1.75mm, namun lubang *nozzle 3D printer* memiliki ukuran 2mm untuk *inlet*-nya bisa dilihat pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Ukuran *nozzle 3D printer* (Sumber : pixelelectric.com)

Berdasarkan hal ini filamen botol plastik hasil pultrusi yang memiliki diameter antara 1.75-2 mm maka dianggap baik, dan mampu untuk proses *3d printing*. Eksperimen yang akan dilakukan adalah suhu *nozzle* 100°C, 110°C, dan 120°C dengan kecepatan 20 rpm, 30 rpm, dan 40 rpm pada masing-masing suhu *nozzle*.

1. Suhu *nozzle* 100°C

Data suhu *nozzle* 100°C untuk proses pultrusi botol plastik menjadi filamen bisa dilihat pada tabel 2 dibawah ini. Proses pultrusi dilakukan sebanyak dua kali untuk setiap kecepatan putarnya.

Tabel 2. Data suhu *nozzle* 100°C

Nozzle Temperatur (Celcius)	Kecepatan putar (rpm)	No. Sampel	Diameter Filamen botol plastik (mm)	Kondisi filamen botol plastik
100	20	1	-	pultrusi tidak sempurna
		2	-	pultrusi tidak sempurna
	30	1	1,87	Baik
		2	-	pultrusi tidak sempurna
	40	1	1,98	benjolan, permukaan tidak halus, dan ada bagian yang rusak
		2	1,9	benjolan, permukaan tidak halus, dan ada bagian yang rusak

Suhu *nozzle* 100°C kurang ideal pada kecepatan 20 rpm, pada kecepatan 30 rpm hanya sample pertama yang memiliki kondisi baik, dan pada kecepatan 40 rpm menghasilkan cacat yang signifikan.

2. Suhu *nozzle* 110°C

Data suhu *nozzle* 110°C untuk proses pultrusi botol plastik menjadi filamen bisa dilihat pada tabel 3 dibawah ini. Proses pultrusi dilakukan sebanyak dua kali untuk setiap kecepatan putarnya.

Tabel 3. Data suhu *nozzle* 110°C

Nozzle Temperatur (Celcius)	Kecepatan putar (rpm)	No. Sampel	Diameter Filamen botol plastik (mm)	Kondisi filamen botol plastik
110	20	1	1,81	Baik
		2	1,85	pultrusi kurang sempurna
	30	1	1,82	ada benjolan, dan kerusakan
		2	1,77	baik
	40	1	-	pultrusi tidak sempurna
		2	1,80	Baik

Suhu 110°C lebih konsisten menghasilkan filamen dengan kondisi baik di hampir semua kecepatan. Namun, sedikit cacat masih terlihat pada kecepatan tertentu.

3. Suhu *nozzle* 120°C

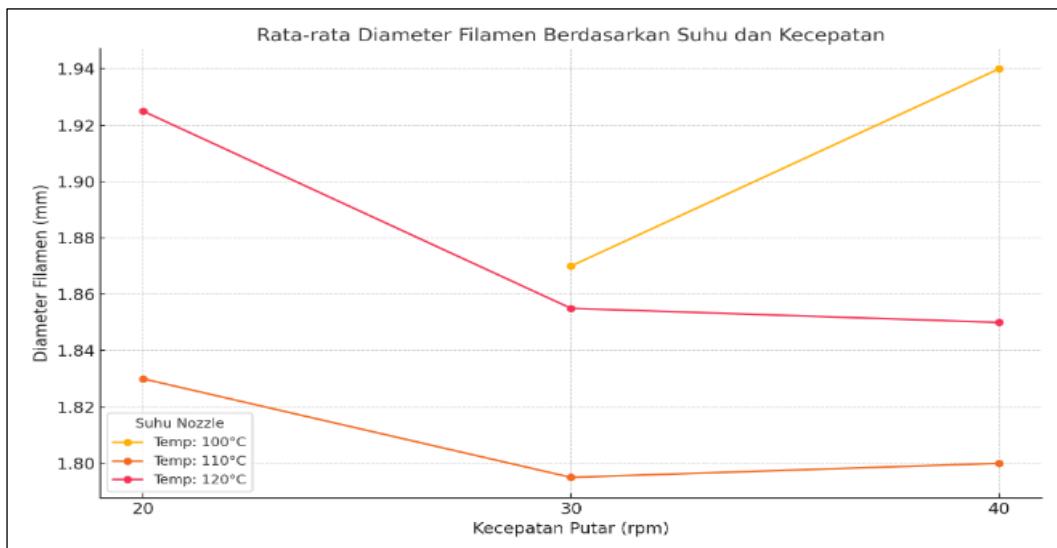
Data suhu *nozzle* 120°C untuk proses pultrusi botol plastik menjadi filamen bisa dilihat pada tabel 4 dibawah ini. Proses pultrusi dilakukan sebanyak dua kali untuk setiap kecepatan putarnya.

Tabel 4. Data suhu *nozzle* 120°C

Nozzle Temperatur (Celcius)	Kecepatan putar (rpm)	No. Sampel	Diameter Filamen botol plastik (mm)	Kondisi filamen botol plastik
120	20	1	1,95	Baik
		2	1,90	Baik
	30	1	1,90	baik
		2	1,88	baik
	40	1	1,83	Baik
		2	1,85	Baik

Suhu 120°C menghasilkan filamen dengan kualitas paling konsisten dan baik di semua kecepatan. Diameter filamen cenderung lebih besar pada kecepatan rendah 20rpm dan mengecil pada kecepatan tinggi.

Pada gambar 4 dibawah ini merupakan grafik rata-rata diameter berdasarkan suhu dan kecepatan saat proses pultrusi botol plastik menjadi filamen.



Gambar 4. Rata-rata diameter filamen berdasarkan suhu dan kecepatan

Pada gambar 4 menunjukkan kecepatan putar motor (rpm) dengan rata-rata diameter filamen pada beberapa suhu *nozzle*. Bisa dilihat pada grafik diatas bahwa:

1. Suhu 100°C menunjukkan ketidakstabilan pada kecepatan 20rpm tidak menghasilkan filamen, kemudian menghasilkan diameter lebih besar pada kecepatan tinggi 40 rpm.
2. Suhu 110°C menghasilkan diameter filamen yang lebih konsisten
3. Suhu 120°C pada kecepatan rendah menghasilkan diameter yang besar, kemudian tetap stabil pada kecepatan 30 rpm dan 40rpm.

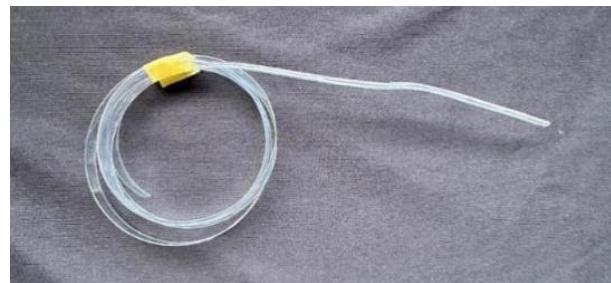
Dari penelitian ini didapatkan beberapa kondisi filamen botol plastik hasil pultrusi:

1. Kondisi Baik: filamen botol plastik memiliki diameter yang stabil, permukaan halus, tidak ada benjolan dan kerusakan. Kondisi tersebut bisa dilihat pada gambar 5 dibawah ini.



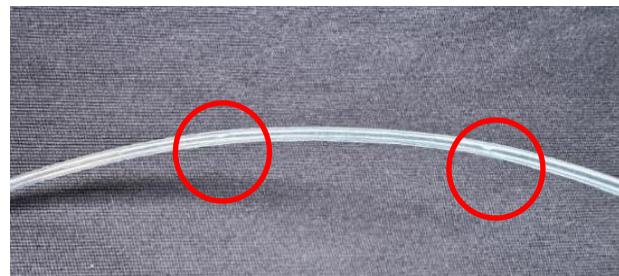
Gambar 5. Filamen kondisi baik

2. Cacat : cacat yang terjadi pada proses pultrusi bisa dikategorikan sebagai berikut :
 - Pultrusi tidak sempurna : kondisi ini biasanya terjadi ketika kecepatan rendah dan suhu rendah. Kondisi tersebut bisa dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Pultrusi tidak sempurna

- Benjolan : benjolan ini timbul biasanya ketika proses pultrusi terlalu cepat dan suhu rendah, benjolan yang terjadi hanya kecil saja tidak besar. Kondisi tersebut bisa dilihat pada gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Benjolan filamen botol plastik

- Rusak : filamen botol plastik yang rusak biasanya disebabkan karena pita botol plastik yang lebarnya terlalu kecil. Bisa disebabkan juga pultrusi terlalu cepat dan suhu rendah. Kondisi tersebut bisa dilihat pada gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Filamen botol plastik rusak

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukan bahwa mesin pultrusi mampu menghasilkan filamen dengan diameter 1.75-2mm yang sesuai untuk *3D Printer*. Parameter optimal ditemukan pada suhu 120°C dan kecepatan 30 rpm, menghasilkan filamen dengan diameter konsisten (1,86-1,88 mm) dan kualitas yang baik tanpa cacat. Penelitian ini menunjukan bahwa rancang bangun mesin pultrusi merupakan alternatif daur ulang botol plastik menjadi material ramah lingkungan dengan potensi besar untuk filamen *3D Printer*

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan bantuan melalui program hibah penelitian laboran dengan nomor 001/Dir/DPPM/70/Pen.Laboran/IV/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Franzia, E. (2014). Pemanfaatan limbah botol plastik untuk produk rumah tangga. *Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat* (Vol. 1, hlm. 237–246). Universitas Trisakti.
- Hanifah, M., & Arumsari, A. (2020). Pengolahan limbah botol plastik untuk produk fesyen dengan hot textile. *e-Proceedings of Art & Design*, 7(2), 3446–3460.
- Mikula, K., Skrzypczak, D., Izydorczyk, G., Warchoł, J., Moustakas, K., Chojnacka, K., & Witek-Krowiak, A. (2021). 3D printing filament as a second life of waste plastics: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(10), 12 321–12 333.
- Minchenkov, K., Vedernikov, A., Safonov, A., & Akhatov, I. (2021). Thermoplastic pultrusion: A review. *Polymers*, 13(2), 1–36.
- Mirón, V., Ferrández, S., Juárez, D., & Mengual, A. (2017). Manufacturing and characterization of 3D printer filament using tailoring materials. In *Procedia Manufacturing*, 13 (pp. 888–894).
- Rahmatullah, I. (2023). Pelatihan implementasi pemilahan sampah plastik di SDN 001 Samarinda Utara. *Jurnal Pengabdian Kreativitas Pendidikan Mahakam (JPKPM)*, 3(1), 124–126.
- Sofiana, Y. (2010). Pemanfaatan limbah plastik sebagai alternatif bahan pelapis (upholstery) pada produk interior. *Humaniora*, 1(2), 331–337
- Taufik, M., Lubis, G. S., & Ivanto, M. (2023). Rancang bangun mesin pultrusion pembuat filamen 3D printing berbasis limbah plastik botol PET. *JTRAIN: Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, 4(1), 01–08.
- Tylman, I., & Dzierżek, K. (2020). Filament for a 3D printer from PET bottles: Simple machine. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 9(10), 1386–1392.
- Valerga, A. P., Batista, M., Salguero, J., & Girot, F. (2018). Influence of PLA filament conditions on characteristics of FDM parts. *Materials*, 11(8). 1-13