

## **Rancang Bangun Mesin *Pultrusion* Pembuat Filamen 3D *Printing* Berbasis Limbah Plastik Botol PET**

<sup>(1)\*</sup>**Muhammad Taufik**, <sup>(2)</sup>**Gita Suryani Lubis**, <sup>(3)</sup>**Muhammad Ivanto**.

<sup>(1,2,3)</sup> Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tanjungpura, Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak

\*Email: [mofik314@gmail.com](mailto:mofik314@gmail.com)

### **ABSTRACT**

*Polyethylene Terephthalate plastic* is a type of plastic that is often used as disposable beverage bottles so that excessive use has an adverse impact on the environment. In addition, the process of decomposing this plastic is relatively long, it takes years to decompose PET type plastic. PET waste recycling methods are currently still rare to be able to process PET into semi-finished goods and finished goods, so it is quite difficult to obtain goods that have high function and economy. PET is a type of plastic that is easily reformed, so one effort that can be done to take advantage of this waste is to make PET waste into filaments by recycling of waste. Therefore the aim of this research is to design a *pultrusion* for making filament using PET waste where the machine uses Arduino assistance as a machine control system, especially the process of controlling temperature and pulling speed. The experimental method was used in this study by adding a cooling fan during the withdrawal process. This is intended so that the filament hardens quickly and the diameter of the filament produced is uniform. The parameters used are a temperature of 205°C and a pull speed of 30 rpm. The result obtained is that the filament has a uniform diameter, shiny color and has a smooth surface.

**Keywords:** *polyethylene terephthalate (PET) plastic bottle waste, pultrusion, PET filament, temperature, tensile speed*

### **ABSTRAK**

Plastik *Polyethylene Terephthalate (PET)* merupakan jenis plastik yang sering digunakan sebagai botol minuman sekali pakai sehingga penggunaan yang berlebihan memiliki dampak yang kurang baik terhadap lingkungan. Selain itu proses penguraian plastik ini relative lama, dibutuhkan waktu bertahun-tahun untuk menguraikan plastik jenis PET. Metode daur ulang limbah PET saat ini masih jarang untuk dapat mengolah PET menjadi barang setengah jadi maupun barang jadi sehingga cukup sulit didapatkan barang yang memiliki fungsi dan ekonomis yang tinggi. PET merupakan jenis plastik yang mudah dibentuk kembali, sehingga salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk memanfaatkan limbah ini adalah dengan menjadikan limbah PET menjadi filamen dengan cara mendaur ulang (*recycle*) limbah jenis ini. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini, adalah membuat rancang bangun mesin *pultrusion* pembuat filamen menggunakan limbah PET dimana mesin tersebut menggunakan bantuan arduino sebagai sistem kendali mesin terutama proses pengaturan temperatur serta kecepatan tarik. Metode eksperimental digunakan dalam penelitian ini dengan menambahkan kipas pendingin pada saat proses penarikan. Hal tersebut dimaksudkan agar filamen cepat mengeras dan diameter filamen yang dihasilkan seragam. Parameter yang digunakan yaitu temperatur sebesar 205°C dan kecepatan tarik 30 rpm. Hasil yang didapatkan adalah filamen memiliki diameter seragam, warna yang mengkilau dan memiliki permukaan yang halus.

**Kata Kunci:** limbah botol plastik *polyethylene terephthalate (PET)*, mesin *pultrusion*, filamen PET, temperatur, kecepatan tarik.

## 1. Pendahuluan

Plastik memiliki peranan yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari, umumnya digunakan sebagai bahan pengemas makanan dan minuman karena sifatnya yang kuat, ringan dan praktis (Suci, Janiroh, and Tohari 2021). Jenis plastik yang sering digunakan yaitu plastik *polyethylene terephthalate* (PET). Plastik jenis ini sering digunakan sebagai botol minuman seperti botol air kemasan atau botol minuman (Karuniastuti 2019). PET sering juga dibuat untuk serat sintetis atau *polyester* yang mencapai 60% pemakaian dunia (Sasmitha and Marsono 2017). Plastik PET mempunyai ukuran yang stabil dan tidak berbahaya (Okatama 2017). Beberapa keunggulan plastik jenis PET ini adalah dapat didaur ulang kembali menjadi berbagai macam produk yang memiliki nilai ekonomis seperti produk filamen, mainan, furniture, dan souvenir (Sofiana 2018). Metode daur ulang plastik PET dan pemanfaatannya menjadi berbagai macam bentuk barang merupakan salah satu jawaban untuk mengatasi permasalahan limbah PET yang ada (Suminto 2017).

Karena beberapa keunggulan yg dimiliki oleh plastik tersebut, maka berdampak pada semakin meningkatnya penggunaan jenis plastik PET ini. Penggunaan plastik berlebihan memiliki dampak yang kurang baik terhadap lingkungan karena memiliki sifat tidak mudah terurai secara alami sehingga mengakibatkan terjadinya penumpukan limbah dan menjadi penyebab pencemaran maupun kerusakan lingkungan hidup (Asroni, Djiwo, and Setyawan 2018). Kondisi demikian mengakibatkan bahan kemasan plastik sulit untuk dipertahankan penggunaannya secara lama, karena dapat menambah permasalahan lingkungan dan alam di waktu mendatang.

Filamen adalah bahan yang digunakan dalam membuat suatu prototype dari model 3D (Mirón et al. 2017). Teknologi 3D printer (*additive manufacturing*) adalah sebuah inovasi baru yang ada pada bidang industri manufaktur. Dalam proses pencetakan 3D printer digunakan bahan baku filamen berjenis *Polylactid Acid* (PLA) karena sifat mekanik nya kaku dan kuat sehingga sangat cocok digunakan (Valerga et al. 2018). Namun bahan baku PLA tersebut masih jarang ditemui di daerah Kalimantan Barat, sehingga solusi yang digunakan adalah dengan menjadikan filamen dari limbah botol plastik. Botol plastik PET dipilih karena memiliki sifat

termoplastik dan mudah meleleh sehingga mudah dibentuk kembali bersifat elastis yang cocok digunakan sebagai bahan baku pencetakan objek 3D menggunakan mesin 3D printer (Mikula et al. 2021).

Metode *Pultrusion* digunakan dalam proses pembuatan filamen ini karena menghasilkan tingkat diameter filamen yang seragam ketimbang menggunakan metode ekstrusi (Minchenkov et al. 2021). Prinsip kerja alat ini adalah *nozzle* yang dilubangi khusus sehingga memungkinkan proses *pultrusion* filamen dengan diameter 1,75 mm (Tylman and Dzierzek 2020). Tali plastik melewati blok pemanas yang diplastisasi kemudian dibentuk oleh *nozzel* menjadi filamen. Suhu yang diperlukan untuk memanaskan blok adalah 220°C dan suhu ini dipilih secara eksperimen, sedangkan kecepatan penggulangan filamen adalah 30 rpm.

Mesin *pultrusion* filamen diatur menggunakan perangkat arduino uno dimana perangkat ini adalah sebagai pengatur sensor kecepatan putaran penggulangan filamen serta pengatur setingan suhu pemanas (Budiyanoro, Rochardjo, and Nugroho 2020). Perangkat ini dapat mengendalikan banyak komponen dalam satu rangkaian sehingga memudahkan proses setting perangkat mesin. Perangkat ini dapat mengendalikan banyak komponen dalam satu rangkaian sehingga memudahkan proses setting perangkat mesin karena pengaturan terpusat pada satu mikrokontroler yang bekerja dengan membaca sistem komponen input yang akan diteruskan ke komponen pin arduino serta akan dikeluarkan berupa perintah output dalam bentuk data (Tya, Adi, and Burhanuddin 2020).

Saat ini, filamen yang digunakan adalah filamen berjenis *Polylactid Acid* (PLA) namun karena bahan baku yang masih sulit ditemukan di daerah Pontianak dan harga yang ada dipasaran cukup mahal mengakibatkan proses cetak produk dapat terganggu. Filamen PET akan digunakan sebagai pengganti filamen PLA dalam proses pencetakan objek 3D.

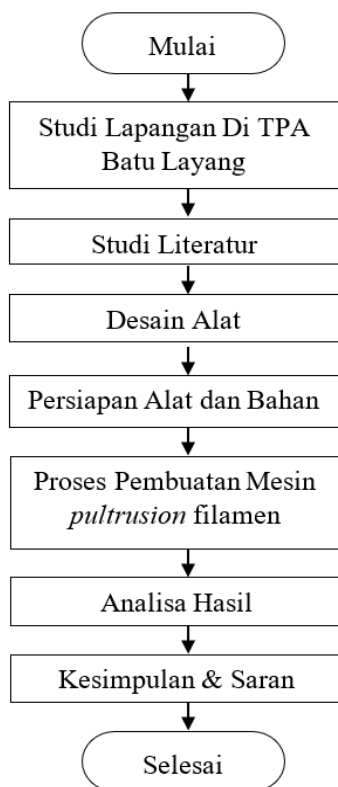


Gambar 1. Sampel Limbah Botol PET

## II. Bahan dan Metode

### 1. Metode

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode *experimental*, dimana penambahan kipas pendingin pada mesin *pultrusion* tersebut dilakukan agar filamen PET cepat mengering sehingga didapatkan filamen yang memiliki diameter seragam, warna yang mengkilau serta permukaan yang halus. Proses pembuatan mesin *pultrusion* ini dilakukan di LAB Mesin Fakultas Teknik Universitas tanjungpura. Adapun diagram alir penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah penjelasan dari tahapan-tahapan pada penelitian ini yang dirangkum dalam diagram alir seperti pada gambar 2 adalah sebagai berikut:

1. Mulai, yaitu proses mencari suatu permasalahan yang akan diteliti.
2. Studi lapangan di Batu Layang, pada tahap ini permasalahan semakin mengerucut pada cara mengatasi limbah sampah di TPA Batu layang khususnya limbah botol PET.
3. Studi Literatur, yaitu mencari kajian-kajian terdahulu tentang pemecahan

permasalahan yang akan dilakukan khususnya pada limbah botol PET.

4. Desain Alat, digunakan sebagai acuan dalam proses perancangan mesin *pultrusion* agar tidak terjadi kesalahan dalam proses pembuatan.
5. Persiapan Alat & Bahan, yaitu proses mengumpulkan material-material yang akan digunakan dalam proses pembuatan.
6. Proses Pembuatan Mesin *Pultrusion* yaitu proses menyatukan komponen-komponen yang telah dirakit menjadi satu bagian.
7. Analisa Hasil, digunakan untuk menguji keandalan mesin berupa hasil dari filamen yang di cetak.
8. Kesimpulan & Saran, yaitu hasil dari proses perancangan serta pembuatan mesin yang diolah sehingga di dapatkan suatu kesimpulan.
9. Selesai.

### 2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam proses pembuatan mesin *pultrusion* pembuat filamen ini adalah sebagai berikut:

#### Alat:

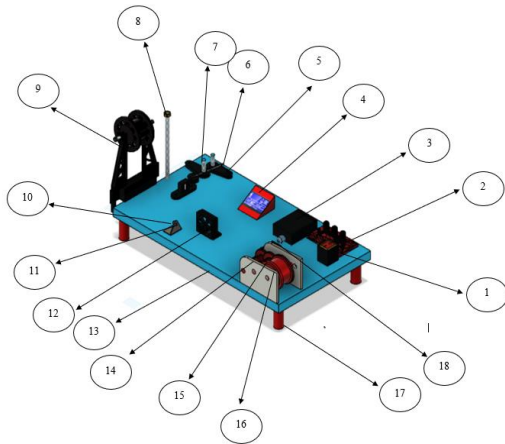
1. Lcd 125 x60
2. Arduino 2560
3. Heater
4. Motor Stapper
5. *Thermistor*
6. *Nozzle*
7. Bor
8. Gerinda
9. *Power Supply*
10. Kipas pendingin.
11. Mata Pisau *Cutter*
12. *Heat gun*

#### Bahan:

1. Botol PET
2. Baut 15 mm
3. *Isopropil Alcohol* 99%
4. Mata Bor M8

#### Perancangan Alat

Adapun desain mesin *pultrusion* pembuat filamen dari limbah PET adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Desain Mesin Pultrusion

Berikut nama-nama komponen yang terdapat pada mesin 3d printer filamen sebagai berikut:

1. Saklar
2. Arduino
3. Controller
4. Papan LCD 128 x 64
5. Cutter Housing
6. Cutter A-300
7. Baut  $\varnothing$  10mm
8. Poros  $\varnothing$  10 mm
9. Plastic Roll
10. Housing  $\varnothing$  10 mm
11. Nozzle
12. Fan
13. Wood
14. Filamen Roll
15. Gear Transmisi  $\varnothing$  40 mm
16. Gear Transmisi  $\varnothing$  60 mm
17. Kaki Penyangga
18. Motor Stepper DC

### III. Hasil dan Pembahasan

#### 1. Proses Pembuatan Mesin Pultrusion Pembuat Filamen PET.

a. Persiapan material pendukung diawali dengan mengukur papan sebagai dudukan mesin dengan ukuran 45 x20 cm. Papan berjenis kayu digunakan sebagai dudukan dikarenakan sifatnya yang tidak menghantarkan panas (Konduktor) sehingga proses pemanasan yang akan diberikan ke limbah PET tidak tersalurkan energi panasnya kedalam dudukan mesin. Sistem pemanas yang diberikan adalah plastik akan melewati blok pemanas sehingga plastic tersebut lunak dan membentuk sesuai output keluaran nozzle. Dudukan mesin juga diberi kaki penyangga agar tidak goyang pada saat proses pengoperasian.



Gambar 4. Proses Pembuatan Dudukan Mesin

#### b. Proses Pembuatan Pisau Pemotong Limbah polyethylene terephthalate (PET)

Limbah PET yang berbentuk botol akan di ubah bentuk menjadi tali plastik panjang tanpa putus, perubahan tersebut dimaksudkan untuk memudahkan proses *pultrusion* limbah PET akan melewati proses pemanasan dan penarikan sehingga menjadikan bentuk filamen sesuai dengan variasi yang diinginkan. Bahan - bahan yang digunakan dalam proses pembuatan pisau pemotong limbah PET ini adalah mata pisau kecil tipe A-100, ring dan baut ukuran 0.5 mm, serta dudukan pisau dengan ukuran 5 cm yang dibuat menggunakan 3D printer seperti gambar dibawah ini:



Gambar 5. Pisau Pemotol Botol PET

#### c. Proses Pembuatan Gulungan Tali Limbah polyethylene terephthalate (PET)

Gulungan Tali limbah PET dibuat menggunakan software *Autodesk fusion 360* dengan ukuran diameter penggulangan adalah  $\varnothing$ 15 cm serta rangka penggulangan dengan Panjang 16 cm dan lebar 9 cm. Tujuan dibuat penggulangan ini adalah untuk mempermudah proses penarikan tali plastik limbah PET dan menghindari tali plastik kusut. Adapun proses pembuatan kotak penggulangan adalah sebagai gambar berikut:



Gambar 6. Gulungan Tali PET



### 1. Proses Perhitungan Gear ratio

Rasio roda gigi atau *gear ratio* (atau perbandingan roda gigi) adalah jumlah rasio output dan input roda gigi pada porosnya terdiri dari gigi yang disusun secara seri yang digunakan untuk menambah atau mengurangi kecepatan pada poros output (Bosmans, Bervoets, and Veeger 2020). Pada mesin pultrusion pembuat filamen ini gear ratio diperlukan untuk menstabilkan kecepatan penarikan serta menstabilkan putaran mesin sehingga hasil dari kepresisian dan akurasi memiliki nilai yang tinggi. Berikut ini perhitungan gear ratio dan kecepatan penarikan mesin pultrusion adalah sebagai berikut:

$$GR = \frac{Z_{out}}{Z_{in}} = \frac{N_{out}}{N_{in}} \quad (1)$$

$Z_{out}$  = Jumlah gigi roda gigi output / driven

$Z_{in}$  = Jumlah gigi roda gigi input / driver

$N_{in}$  = Kecepatan putar roda gigi input/ driver (RPM)

$N_{out}$  = Kecepatan putar roda gigi output/ driven (RPM)

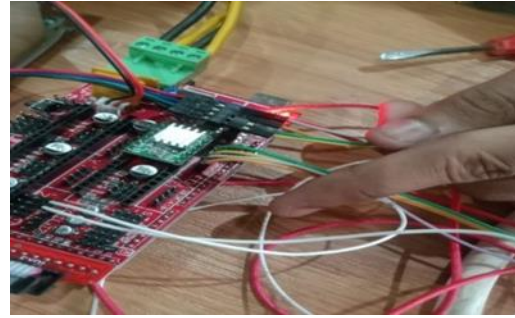
Diketahui Jumlah Roda Gigi A=C=E= 18,  
B=D=36, F=54

$$GR = \frac{38}{18} \times \frac{38}{18} \times \frac{54}{18} = 2 \times 2 \times 3 = 12$$

$$\omega = \frac{N_F}{Z_{GR}} = \frac{360}{12} = 30 \text{ RPM}$$

### 2. Proses Mengatur dan Pembuatan Perangkat Arduino.

Perangkat Arduino digunakan sebagai media pengontrol otomatis sistem. Mesin *Pultrusion* pembuatan filamen ini menggunakan blok pemanas serta motor *stepper* yang dikontrol langsung oleh perangkat arduino tersebut. Tujuan dari penggunaan perangkat ini adalah untuk mengetahui serta mendapatkan indikator terbaik dalam proses *pultrusion* yang dilakukan dalam satu kendali perangkat arduino. Sistem pemanas mesin *pultrusion* pembuat filamen diatur dengan kisaran suhu 0°C -270°C, sedangkan kecepatan penggulangan diatur dalam 10 -40 rpm.



Gambar 7. Setting Perangkat Arduino

### 3. Proses Pembuatan Nozzle

Pada komponen *nozzle* dibuat dapat dilepas dan dipasang kembali agar dapat mempermudah proses pembersihan bagian dalam ataupun mengganti nozzle tersebut. Bahan yang digunakan dalam pembuatan *nozzle* adalah kuningan silinder berdiameter 25 mm dan panjang 25 mm. *Nozzle* yang digunakan adalah *nozzle* 3D printer dengan diameter dalam awal sebesar 0.4 mm kemudian selanjutnya memperbesar lubang diameter sebesar 1.60 mm menggunakan bor pada bagian ujungnya sebagai tempat keluar tali plastik yang telah melunak.



Gambar 8. Proses Melubangi Nozzle Ø 1.60 mm

### 4. Proses Cetak Kotak Penarikan filamen.

Kotak penarikan filamen berfungsi sebagai media penggulangan filamen yang telah melewati proses pemanasan serta pelipatan oleh blok pemanas. Filamen yang telah melewati blok pemanas kemudian ditarik menggunakan bantuan motor *stepper* sehingga filamen akan keluar dan berputar mengikuti arah kotak penggulangan. Kotak penarikan filamen berdimensi 11cm x 8cm dimana terdapat 3 gear untuk mentransmisikan daya yang didapat oleh motor *stepper*. Tujuan dari digunakannya sistem transmisi adalah untuk menstabilkan kecepatan penarikan dari motor *stepper* agar proses penggulangan filamen dapat terjaga akibat dari putaran penggulangan yang optimal (Sujana and Wicaksono 2022). Putaran *stepper* yang terlalu

cepat mengakibatkan pengecilan dimensi filamen akibat dari belum mengerasnya plastik PET sehingga mengakibatkan akurasi filamen menjadi tidak bagus. Berikut ini proses pembuatan kotak penarikan filemen.



Gambar 9. Kotak Penarikan Filamen

#### 5. Hasil Rancangan Alat

Setelah melalui proses pembuatan alat didapatkan *assembly* dari mesin pultrusion pembuat filamen 3d printer berbahan limbah plastik botol PET tersebut. Adapun bentuk *assembly* dari mesin pultrusion tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 10. Mesin Pultrusion Full Assembly

#### 6. Prosedur Pengoperasian

Adapun prosedur pengoperasian mesin filamen pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hidupkan perangkat kelistrikan seperti *power supply* dan mesin *pultrusion* pembuat filamen dengan cara menekan tombol on pada layar LCD.
2. Setelah memastikan semua komponen menyala, atur mesin 3D printer filamen dengan suhu  $205^{\circ}\text{C}$  dan kecepatan penggulungan 30 rpm.
3. Setelah suhu mencapai indikator yang ditetapkan, masukan lembaran botol ke mesin 3D printer filamen.
4. Selanjutnya tunggu filamen keluar dari lubang *nozzle* kemudian tarik dengan kecepatan 30 rpm.

## 2. Analisa Hasil

Pada percobaan yang telah dilakukan menggunakan mesin *pultrusion* pembuat filamen ini parameter temperatur  $205^{\circ}\text{C}$ , serta kecepatan tarik 30 rpm. Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap botol plastik berukuran 1.5 L didapatkan panjang filamen yang dihasilkan adalah 7.80 m dengan berat filamen sebesar 15 gram. Standarisasi filamen yang telah ditetapkan 3D printer FDM dalam 1 roll adalah 1 kg, maka filamen dari limbah PET akan mengikuti standar jumlah kapasitas filamen dalam 1 roll diperlukan panjang sebesar 520,02 m filamen sedangkan limbah PET yang diperlukan sebesar 67 botol untuk membuat 1 kg filamen PET. Dari proses percobaan diatas di dapatkan filamen dengan diameter seragam, warna yang mengkilau serta permukaan yang halus sehingga sudah cocok untuk melewati proses cetak produk. berikut ini gambar filamen yang dihasilkan dari mesin *pultrusion* adalah sebagai berikut:



Gambar 11. Filamen Yang Dihasilkan

## IV. Kesimpulan & Saran

### 1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan perhitungan menggunakan aplikasi *autodesk fusion 360* diperoleh mesin *pultrusion* yang digunakan sebagai mesin pembuat filamen berbahan dasar PET menggunakan beberapa komponen utama seperti *Arduino Uno Mega 2560*, *Stepper motor nema 17*, dudukan alat, kotak penggulungan, *nozzle* 1.60 mm, blok pemanas hingga komponen lainnya yang dirakit menjadi satu bagian sehingga dapat berfungsi dengan baik. Mesin *pultrusion* ini dapat memproduksi filamen dengan hasil rata-rata pengukuran diameter sebesar 1.72 mm.

## 2. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan tentunya ada kekurangan dari proses perancangan hingga proses pengujian, Adapun saran yang dapat diberikan penulisan dari skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Mengganti jenis plastik yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan filamen menggunakan mesin pultrusion selain plastik PET.
2. Mengganti mata pisau pemotong botol plastik secara berkala untuk menghindari mata pisau menjadi tumpul dan agar proses pemotongan plastik tetap pada standar pemotongan dengan lebar 7mm.

## Daftar Pustaka

- Asroni, Mochtar, Soeparno Djiwo, and Eko Yohanes Setyawan. 2018. "Pengaruh Model Pisau Pada Mesin Sampah Botol Plastik." *Jurnal Aplikasi Dan Inovasi Ipteks "Soliditas" (J-Solid)* 1(1):29–33. doi: 10.31328/js.v1i1.569.
- Bosmans, I., B. Bervoets, and J. Veeger. 2000. "Ha Nd c Yc Ling : D If f e r e Nt m o d e s a Nd Ge Ar Ra Tio S." 24(6):242–49.
- Budiyantoro, Cahyo, Heru S. B. Rochardjo, and Gesang Nugroho. 2020. "R." *Polymers* 12(12):1–24. doi: 10.3390/polym12122833.
- Karuniastuti, Nurhenu. 2013. "Bahaya Plastik Terhadap Kesehatan Dan Lingkungan." *Swara Patra: Majalah Pusdiklat Migas* 3(1):6–14.
- Mikula, Katarzyna, Dawid Skrzypczak, Grzegorz Izydorczyk, Jolanta Warchoř, Konstantinos Moustakas, Katarzyna Chojnacka, and Anna Witek-Krowiak. 2021. "3D Printing Filament as a Second Life of Waste Plastics—a Review." *Environmental Science and Pollution Research* 28(10):12321–33. doi: 10.1007/s11356-020-10657-8.
- Minchenkov, Kirill, Alexander Vedernikov, Alexander Safonov, and Iskander Akhatov. 2021. "Thermoplastic Pultrusion: A Review." *Polymers* 13(2):1–36. doi: 10.3390/polym13020180.
- Mirón, V., S. Ferrándiz, D. Juárez, and A. Mengual. 2017. "Manufacturing and Characterization of 3D Printer Filament Using Tailoring Materials." *Procedia Manufacturing* 13:888–94. doi: 10.1016/j.promfg.2017.09.151.
- Okatama, Irvan. 2017. "Analisa Peleburan Limbah Plastik Jenis Polyethylene Terphthalate (Pet) Menjadi Biji Plastik Melalui Pengujian Alat Pelebur Plastik." *Jurnal Teknik Mesin* 5(3):20. doi: 10.22441/jtm.v5i3.1213.
- Sasmitha, Destya, and Bowo Djoko Marsono. 2017. "Pemanfaatan Sampah Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) Sebagai Media Pada Unit Pre-Filter." *Jurnal Teknik ITS* 6(1). doi: 10.12962/j23373539.v6i1.21744.
- Sofiana, Yunida. 2010. "Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Alternatif Bahan Pelapis (Upholstery) Pada Produk Interior." *Humaniora* 1(2):331. doi: 10.21512/humaniora.v1i2.2874.
- Suci, Nisa Permata, Siti Janiroh, and Mohammad Amin Tohari. 2021. "Pengembangan Kreatifitas Masyarakat Dengan Mendaur Ulang Sampah Plastik." *Jurnal UMJ* 4.
- Sujana, Ivan, and Romario A. Wicaksono. 2022. *Rancang Bangun Alat Ekstruder Dengan Pemanfaatan Limbah Plastik Polypropylene Dan Polyethylene Terephthalate Untuk Menghasilkan Filamen 3D Printing*. Vol. 3.
- Suminto, Sekartaji. 2017. "Ecobrick: Solusi Cerdas Dan Kreatif Untuk Mengatasi Sampah Plastik." *PRODUCTUM Jurnal Desain Produk (Pengetahuan Dan Perancangan Produk)* 3(1):26. doi: 10.24821/productum.v3i1.1735.
- Tya, R. A., Y. S. Adi, and A. Burhanuddin. 2020. "Rancang Bangun Mesin Filament Extruder Yang Berbasis Arduino Mega2560 Dengan Hasil Acrylonitrile Butadiene Styrene (Abs)." *Science and Engineering ...* 5(Sens 5):495–506.
- Tylman, Igor, and Kazimierz Dzierzek. 2020. "Filament for a 3D Printer from Pet Bottles-Simple Machine." *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research* 9(10):1386–92. doi: 10.18178/ijmerr.9.10.1386-1392.

Valerga, Ana Pilar, Moisés Batista, Jorge Salguero, and Frank Girot. 2018. "Influence of PLA Filament Conditions on Characteristics of FDM Parts." *Materials* 11(8). doi: 10.3390/ma11081322.