

# PENGARUH SUHU DAN KECEPATAN MOTOR MESIN PULTRUSION TERHADAP DIAMETER FILAMEN 3D PRINTING

Wantri Kasma Wita<sup>1)</sup>, Irawan Malik<sup>2)\*</sup>, Sairul Effendi<sup>2)</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya  
Jl. Sriwijaya Negara, Bukit besar, Palembang, 30139, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya, Politeknik Negeri Sriwijaya  
Jl. Sriwijaya Negara, Bukit Besar, Palembang, 30139, Indonesia

\*e-mail Korespondensi: [irawanmalik@polsri.ac.id](mailto:irawanmalik@polsri.ac.id)

## INFORMASI ARTIKEL

Received:  
06/10/23

Received in revised:  
01/02/23

Accepted:  
05/03/24

Online-Published:  
30/06/24

## ABSTRAK

Perkembangan teknologi 3D printing sudah pada tingkat penggunaan yang luas diberbagai bidang, termasuk industri. 3D printer digunakan untuk mencetak objek 3D dari desain digital dengan metode aditif. Filamen adalah bahan yang digunakan untuk mencetak objek 3D, dengan diameter 1.75 mm, ukuran paling umum dibutuhkan oleh pasar. Penelitian ini berfokus pada proses pembuatan filamen PET dengan menggunakan mesin pultrusi. Mesin ini diatur menggunakan perangkat Arduino Uno untuk mengontrol suhu dan kecepatan motor. Meskipun metode pultrusi menunjukkan potensi, kualitas filamen yang dihasilkan masih perlu ditingkatkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu nozzle dan kecepatan motor mempengaruhi diameter filamen. Diameter filamen terkecil ditemukan pada suhu 150°C dan kecepatan motor 90 rpm. Sebaliknya, diameter filamen terbesar terjadi pada suhu 140°C dan kecepatan motor 75 rpm. Diameter filamen terbaik dicapai dengan nozzle berdiameter 1.6 mm menghasilkan diameter filamen rata-rata 1.75 mm. Analisis menggunakan metode regresi non-linear menunjukkan bahwa suhu nozzle dan kecepatan motor memiliki pengaruh simultan terhadap diameter filamen, dengan korelasi ( $R^2$ ) sebesar 0.9931. Penelitian ini memberikan wawasan tentang pentingnya mengoptimalkan parameter-proses dalam metode pultrusi untuk meningkatkan kualitas produk 3D printing.

**Kata Kunci:** Cetak 3D, Filamen PET, Pultrusi, Regresi Non- Linear

## ABSTRACT

The use of 3D printing has become really common in different fields, especially in industries. These printers create 3D objects from digital designs by adding material layer by layer. The material used for this, called filament, usually has a diameter of 1.75 mm, which is the most common size in the market. This study focuses on making PET filament using a machine called pultrusion. The regulation of this machine involves the utilization of an Arduino Uno device to control both temperature and motor speed. Even though pultrusion seems promising, the quality of the filament it produces still needs improvement. The results showed that nozzle temperature and motor speed influenced the filament diameter. The smallest diameter happens at a temperature of 150°C and a motor speed of 90 rpm. On the other hand, the largest diameter occurs at 140°C and a motor speed of 75 rpm. The best filament diameter was achieved using a nozzle with a diameter of 1.6 mm, resulting in an average filament diameter of 1.75 mm. Analysis using a non-linear regression method shows that both the nozzle temperature and motor speed together influence filament diameter, with a correlation ( $R^2$ ) of 0.9931. This research gives us insights into why it's crucial to adjust certain factors in the pultrusion process to make better-quality 3D printed products.

**Keywords:** 3D Printing, PET Filament, Pultrusion, Regression Non-Linear

© 2024 The Authors. Published by  
Machinery: Jurnal Teknologi Terapan  
(Indexed in SINTA)

doi:  
<http://doi.org/10.5281/zenodo.12736097>

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi 3D *printing* yang semakin marak digunakan dalam berbagai bidang, salah satu contohnya bidang industri. Kemunculan 3D *printing* ini juga sangat mempengaruhi beberapa bidang industri, terutama dalam konteks ekonomi [1]. 3D *printer* merupakan suatu alat yang digunakan untuk mencetak objek 3D dari desain digital, dalam proses pembuatannya yang secara aditif objek dibuat dengan meletakkan lapisan tipis secara berurutan sampai objek tersebut terbentuk [2]. Temperatur *nozzle* merupakan suatu parameter penting yang perlu diperhatikan dalam mencetak objek dengan 3D *printing* [3]. Teknologi 3D *printing* juga dapat mempermudah suatu perusahaan dalam membuat *prototype* tanpa menghabiskan bahan baku ataupun material [4].

Filamen merupakan material yang dapat digunakan untuk membuat produk 3 dimensi [5]. Ukuran diameter dari filamen 3D *print* yang paling banyak dibutuhkan oleh pasar adalah 1,75 mm [6]. Terdapat beberapa jenis *thermoplastic* yang biasa digunakan untuk bahan filamen 3D *printing* diantaranya: PLA, ABS, PETG, TPU, PP, dan Nilon. PETG (*Polyethylene Terephthalate*) merupakan salah satu jenis polimer, yang paling umum digunakan saat ini adalah versi PET dengan modifikasi penambahan *glycol* ke dalam komposisi material selama polimerisasi [7].

Dalam proses pembuatan filamen terdapat beberapa cara yaitu dengan menggunakan metode ekstrusi dan metode *pultrusion*. Metode *pultrusion* merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dalam proses pembuatan filamen, karena tingkat diameter filamen menghasilkan ukuran yang beragam [8]. Pada metode *pultrusion*, mesin *pultrusion* pembuat filamen diatur dengan perangkat *Arduino Uno* dimana perangkat ini sebagai pengatur sensor kecepatan putaran penggulungan filamen dan pengatur temperatur pemanas [9].

Namun, kualitas filamen yang dihasilkan oleh mesin pembuat filamen 3D *printing* (*pultrusion*) masih merupakan salah satu hal yang perlu untuk ditingkatkan. Kualitas filamen yang buruk dapat mempengaruhi hasil dari kualitas produk 3D yang dihasilkan. Filamen yang berkualitas merupakan filamen dengan daya tahan yang tinggi dan mempunyai diameter yang stabil [10]. Oleh sebab itu melakukan pengujian filamen yang dihasilkan oleh mesin *pultrusion* pembuat filamen 3D *printing* adalah hal yang sangat penting. Hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan filamen dengan alat ini adalah suhu *nozzle* dan kecepatan putar mesin. *Nozzle* merupakan suatu komponen 3D *printer* yang difungsikan sebagai peleleh filamen, sehingga akan dapat memudahkan dalam membentuk suatu produk 3D [11]. Oleh karena, itu tujuan dari penelitian ini yaitu untuk meningkatkan kualitas filamen yang dihasilkan oleh mesin *pultrusion* dalam pembuatan filamen 3D *printing*.

Maka dari itu di dalam penelitian ini, diharapkan akan diperoleh pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana parameter-proses, seperti suhu cetak dan kecepatan putar mesin, mempengaruhi karakteristik filamen seperti bentuk visual, diameter dan konsistensi filamen yang dihasilkan dalam proses *pultrusion*. Hasil penelitian ini dapat memberikan wawasan yang berguna dalam mengoptimalkan proses *pultrusion* dan meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan. Pada penelitian ini juga akan menggunakan metode analisis data *non-linear* secara, *polynomial/kuadrat 4*, *exponential*, dan *logarithmic*. Regresi *non-linear* merupakan suatu metode analisis regresi untuk mendapatkan model *non-linear* yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara variabel terikat dan variabel bebas.

## 2. BAHAN DAN METODE

Pada penelitian ini standar produk yang diinginkan yaitu filamen dengan diameter rata-rata 1,75 mm. Standar ini membantu memastikan kualitas dan konsistensi produk akhir yang dihasilkan mesin *pultrusion*. Ukuran diameter dari filamen 3D *print* yang paling banyak dibutuhkan oleh pasar adalah 1,75 mm [6].

### 2.1 Alat dan Bahan

Adapun peralatan yang akan digunakan untuk menunjang penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

**Tabel 1.** Bahan Penelitian

No.	Nama Alat	Jumlah
1.	Mesin <i>pultrusion</i>	1 Unit
2.	Jangka Sorong	1 Unit
3.	Tang	1 Unit
4.	Gunting	1 Unit
5.	Benang	1 Unit
6.	Penggaris	1 Unit

Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

**Tabel 2.** Bahan Penelitian

No.	Nama Bahan	Jenis	Gambar
1.	Limbah plastik berukuran 1.5 Liter (Bening)	<i>Polyethylene terephthalate (PET)</i>	
2.	Limbah plastik berukuran 2 Liter (Berwarna)	<i>Polyethylene terephthalate (PET)</i>	

## 2.2 METODE

Pada penelitian ini menggunakan metode analisis data regresi *non-linear* yang bertujuan untuk menghasilkan pemahaman lebih dalam mengenai hubungan antar variabel-variabel yang terlibat. Hal ini didasarkan pada kompleksitas hubungan tiap variabel dan kemampuan dari metode *non-linear* untuk menjelaskan dengan lebih baik hubungan tersebut daripada metode *linear*.

Regresi *non-linear* merupakan suatu metode analisis regresi untuk mendapatkan model *non-linear* yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara variabel terikat dan variabel bebas. Macam-macam regresi *non-linear* adalah model kuadrat, model parabola, model eksponensial, model parabola kubik, model hiperbola, model geometrik, dan model logistik [12].

Pada penelitian ini akan menggunakan metode *non-linear* secara, *polynomial/kuadrat 4*, *exponential*, dan *logarithmic*. Sehingga nanti akan diketahui mana nilai  $R^2$  paling besar dari ketiga model tersebut. Selain itu nilai  $R^2$  akan dicari secara simultan (variabel  $X_1$  (suhu) dan  $X_2$  (kecepatan)) terhadap variabel  $Y$  (filamen). Bentuk dari persamaan regresi *non-linear* secara *polynomial/kuadrat* yaitu, [13]:

$$\hat{Y} = a + bX + cX^2 \quad (1)$$

Dengan menggunakan metode kuadrat terkecil, maka  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  dapat dihitung dari sistem persamaan:

$$\begin{aligned} \sum Y_i &= na + b \sum X_i + c \sum X_i^2 \\ \sum X_i Y_i &= a \sum X_i + b \sum X_i^2 + c \sum X_i^3 \\ \sum X_i^2 Y_i &= a \sum X_i^2 + b \sum X_i^3 + c \sum X_i^4 \end{aligned} \quad (2)$$

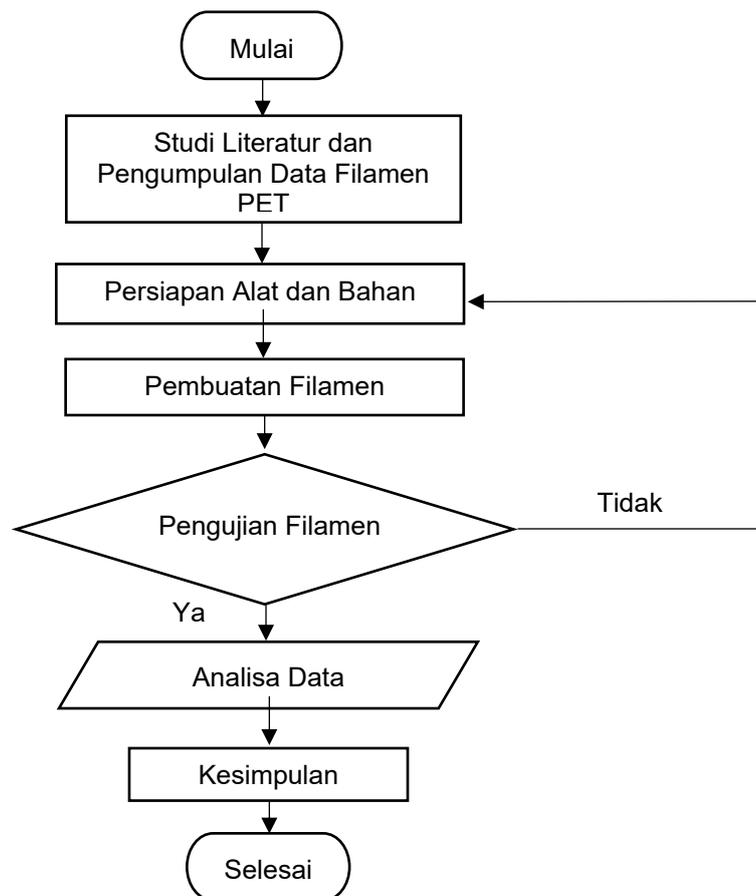
Keterangan:

$Y$  = Variabel terikat

$X$  = Variabel bebas

$a, b, c$  = Konstanta

Adapun tahapan dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Diagram Alir

### 2.3 Proses Pembuatan Filamen

Mesin yang digunakan pada pembuatan filamen bahan 3D *printing* ini adalah mesin pultrusi. Ukuran *nozzle* yang digunakan ada 2, yaitu 1,75 mm dan 1,6 mm. Terdapat 2 variabel proses dalam membuat filamen menggunakan alat ini, yaitu suhu *nozzle*, dan kecepatan putar motor. Dalam penelitian ini menggunakan satu jenis botol, yaitu PET dan 2 merek botol yang berbeda yaitu botol bening dan tambahan menggunakan botol berwarna, kemudin plastik dipotong menjadi lembaran panjang dengan berukuran selebar 10 mm, ukuran ini diambil karena ukuran tersebut tidak terlalu besar maupun kecil untuk menjadi ukuran diameter filamen sebesar 1,75 mm. Untuk botol bening menggunakan 3 variasi suhu berbeda, yaitu 140°C, 145°C dan 150°C. Dan 4 variasi kecepatan putar motor penarik, yaitu 75 rpm, 80 rpm, 85 rpm dan 90 rpm. Sedangkan untuk botol berwarna menggunakan suhu 200°C dan kecepatan putar motor penarik 80 rpm.



Gambar 2. Botol Setelah Dipotong Menjadi Lembaran



**Gambar 3.** Proses Pembuatan Filamen

## 2.4 Pengukuran Diameter Filamen

Pengukuran diameter filamen dilakukan menggunakan jangka sorong, filamen akan diukur di beberapa titik untuk mengetahui diameternya, proses pengukurannya dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



**Gambar 4.** Pengukuran Diameter Filamen

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Penelitian

Hasil dari proses permesinan dengan variasi temperatur dan kecepatan putar motor penarik. Pengujian ini dilakukan pada 2 jenis botol dan 2 jenis ukuran *nozzle*. Suhu *extruder* untuk bahan PET ini antara 240 °C - 260 °C (Mawardi, 2020), sehingga pada penelitian ini suhu yang digunakan tidak setinggi pada saat proses *extruder* agar tidak sampai melelehkan lembaran plastiknya. Karena proses piltrusi ini menggunakan metode penggulungan lembaran plastik yang telah dipotong, berbeda dengan metode ekstrusi yang menggunakan metode peleburan plastik. Selain itu kecepatan putar motor dapat berpotensi mempengaruhi sifat mekanik produk akhir. Kecepatan tinggi mungkin mempercepat proses namun juga dapat mempengaruhi konsistensi material. Pengujian ini dilakukan pada 2 jenis botol dan 2 jenis ukuran *nozzle*, yaitu sebagai berikut

#### A. Filamen dari Botol *Botol beningdan Nozzle 1.75 mm*

Pada pengujian ini dilakukan pada suhu 140°C, 145°C, 150°C dan kecepatan putar motor 75 rpm, 80 rpm, 85 rpm 90 rpm. Kemudian dari 4 variasi suhu dan 4 variasi kecepatan motor akan dikombinasikan untuk melihat bagaimana perubahan suhu dan kecepatan motor mempengaruhi diameter filamen. Sehingga terdapat 12 parameter yang dikombinasikan, dengan demikian akan didapat pengukuran dalam setiap parameter dan mencapai tujuan penelitian untuk menemukan kondisi yang menghasilkan hasil diameter filamen terbaik. Berikut ini merupakan tabel data dari penelitian:

**Tabel 3.** Filamen dari Botol Bening dan *Nozzle* 1.75 mm

Spesimen	Titik	Suhu (°C)	Kecepatan Motor (rpm)	Diameter (mm)	Diameter rata-rata
1.	A	140°C	75 rpm	2,10	2,06
	B			2,20	
	C			2,00	
2.	A	145°C	75 rpm	1,90	2,00
	B			2,00	
	C			2,10	
3.	A	150°C	75 rpm	1,80	1,85
	B			1,85	
	C			1,90	
4.	A	140°C	80 rpm	1,85	1,91
	B			1,90	
	C			2,00	
5.	A	145°C	80 rpm	1,80	1,81
	B			1,75	
	C			1,90	
6.	A	150°C	80 rpm	1,85	1,80
	B			1,80	
	C			1,75	
7.	A	140°C	85 rpm	1,85	1,83
	B			1,80	
	C			1,85	
8.	A	145°C	85 rpm	1,85	1,80
	B			1,80	
	C			1,75	
9.	A	150°C	85 rpm	1,85	1,78
	B			1,75	
	C			1,75	
10.	A	140°C	90 rpm	1,80	1,80
	B			1,85	
	C			1,75	
11.	A	145°C	90 rpm	1,75	1,76
	B			1,75	
	C			1,80	
12.	A	150°	90 rpm	1,75	1,73
	B			1,75	
	C			1,70	

Berdasarkan tabel pengujian di atas didapatkan bahwa diameter filamen yang paling kecil yaitu 1,73 mm pada suhu 150°C dan kecepatan motor 90 rpm. Sedangkan untuk diameter filamen paling besar yaitu 2,06 mm pada suhu 140°C dan kecepatan motor 75 rpm.

#### **B. Filamen dari Botol Bening dan *Nozzle* 1.6 mm**

Hasil pengujian dari kombinasi suhu dan kecepatan diatas, dilakukan lagi pengujian menggunakan *nozzle* yang lebih kecil yaitu 1.6 mm. Pada *nozzle* ini hanya akan mengombinasikan kecepatan motor terbaik 90 rpm dari penelitian diatas dan 3 variansi suhu, yaitu pada suhu 140°C, 145°C dan 150°C. Hal ini dilakukan

untuk memberikan informasi tambahan tentang adaptabilitas hasil percobaan terhadap perubahan kondisi eksperimental. Maka didapat hasil data sebagai berikut:

**Tabel 4.** Filamen dari Botol Bening dan *Nozzle* 1,6 mm

Spesimen	Titik	Suhu (°C)	Kecepatan Motor (rpm)	Diameter (mm)	Diameter rata-rata
1,	A	140°C	90 rpm	1,70	1,71
	B			1,65	
	C			1,80	
2,	A	145°C	90 rpm	1,75	1,75
	B			1,75	
	C			1,75	
3,	A	150°C	90 rpm	1,75	1,73
	B			1,75	
	C			1,70	

### C. Filamen dari Botol Berwarna dan *Nozzle* 1,6 mm

Pada tabel di bawah ini dilakukan pengujian jenis botol berwarna dan menggunakan ukuran *nozzle* 1,6 mm, Akan tetapi pada pengujian botol berwarna ini menggunakan suhu yang lebih tinggi yaitu 200°C, karena botol jenis ini memiliki ketebalan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan jenis botol bening, Pengujian pada botol berwarna ini juga untuk mendapatkan informasi tambahan apakah mesin *pultrusion* ini dapat membuat filamen dengan menggunakan jenis botol yang lebih tebal dan berwarna, Maka didapat hasil data sebagai berikut:

**Tabel 5.** Filamen dari Botol Berwarna dan *Nozzle* 1,6 mm

Spesimen	Titik	Suhu (°C)	Kecepatan Motor (rpm)	Diameter (mm)	Diameter rata-rata
1,	A	200°C	80 rpm	1,75	1,76
	B			1,75	
	C			1,80	
2,	A	200°C	80 rpm	1,75	1,73
	B			1,75	
	C			1,70	
3,	A	200°C	80 rpm	1,75	1,71
	B			1,75	
	C			1,65	

Hasil dari pengujian menggunakan botol berwarna ternyata dapat dilakukan, akan tetapi lebih sulit dalam proses pembuatannya, karena suhu dan kecepatan motor yang harus disesuaikan dengan baik, Oleh karena itu pada botol berwarna ini hanya menggunakan kombinasi suhu 200°C dan kecepatan motor 90 rpm, dengan dilakukan sebanyak 3 kali percobaan,

### 3.2 Analisa Data Diameter Filamen dengan Metode *Non-Linear*

Setelah melakukan analisa data dengan menggunakan metode *non-linear* secara *polynomial*/kuadrat, *exponential*, dan *logarithmic* akan didapatkan nilai korelasi dari masing-masing metode *non-linear* yang digunakan, Nilai korelasi merupakan nilai yang digunakan untuk mengetahui derajat hubungan antara variabel terikat dan variabel bebas [14], Berikut ini merupakan persamaan untuk mencari nilai korelasi:

$$SST = \sum (Y - MeanY)^2$$

$$SSR = \sum (Y' - MeanY)^2$$

$$SSE = SST - SSR$$

$$R^2 = SSR/SST$$

$$r = \sqrt{R^2}$$

(3)

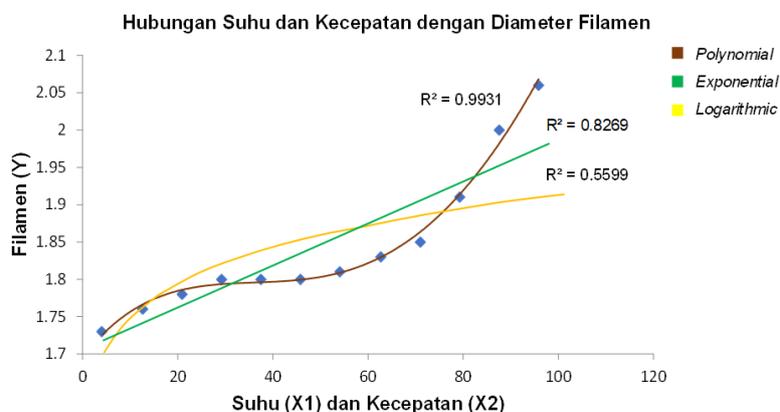
(3)

Keterangan:

SST = *Sum Square Total*

SSR = Sum Square Regresi  
SSE = Sum Square Error  
Y = Data Aktual  
Y' = Data Persamaan Regresi Diperoleh dari Mean  
Mean Y = Rata-rata Data Aktual  
R<sup>2</sup> = Indeks Determinasi  
R = Koefisien Korelasi

Dari gambar di bawah ini dapat dilihat bahwa, nilai R<sup>2</sup> yang tinggi (0,9931) menunjukkan bahwa model kuadrat/*polynomial* sangat baik sesuai dengan data, sehingga sebagian besar variasi dalam data dapat dijelaskan oleh model ini, Fungsi eksponensial mampu dengan baik menggambarkan tren pertumbuhan atau penurunan dalam data, meskipun tidak sesempurna model kuadrat, Model logaritmik memiliki tingkat keakuratan yang moderat dalam menggambarkan pertumbuhan atau penurunan yang melambat, tetapi tidak sebaik fungsi kuadrat atau eksponensial, Dengan membandingkan ketiga model *non-linear*, model kuadrat memberikan penjelasan yang sangat baik terhadap data dengan nilai R<sup>2</sup> tertinggi, sehingga memberikan semua informasi yang dibutuhkan dalam menjelaskan pengaruh dari variabel-variabel *independent* terhadap variabel *dependent*, Berikut ini merupakan analisis data menggunakan metode *non-linear*:



Gambar 5. Kurva Gabungan Analisa Data Metode *Non-Linear*

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengujian dan analisa data yang dilakukan dapat diambil kesimpulan yaitu: Diameter filamen terbesar yaitu 2,06 mm pada suhu 140°C dan kecepatan motor 75 rpm, sedangkan terkecil yaitu 1,73 mm pada suhu 150°C dan kecepatan motor 90 rpm, Analisis data menunjukkan bahwa metode *polynomial*/kuadrat 4 memberikan nilai korelasi (R<sup>2</sup>) terbesar, yaitu 0,9931, menunjukkan bahwa suhu nozzle dan kecepatan motor sangat berpengaruh terhadap diameter filamen serta penelitian ini dapat membantu memahami bagaimana parameter-proses, seperti suhu cetak dan kecepatan putar mesin, mempengaruhi karakteristik filamen dalam proses *pultrusion*, Hasilnya akan dapat digunakan untuk mengoptimalkan proses *pultrusion* dan meningkatkan kualitas produk 3D *printing*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Apriansyah, A. Zamheri, and F. Arifin, "Peningkatan Akurasi Dimensi Dan Tingkat Kekerasan Pada Filamen Esteeel Dengan Pendekatan Metode Taguchi," *Mach. J. Teknol. Terap.*, vol. 2, 2020, doi: <http://doi.org/10.5281/zenodo.474842> 3.
- [2] D. Ardiyanto, "Uji Pengaruh Kecepatan dan Perbedaan Suhu antara Filament PLA dengan Filament PETG Pada 3D Printer Ender 5 PRO," Politeknik Harapan Bersama Tegal, 2021.
- [3] Z. S. Suzen, Hasdiansah, and Yuliyanto, "Pengaruh Tipe Infill Dan Temperatur Nozzle Terhadap Kekuatan Tarik Produk 3D Printing Filamen Pla+ Esun," *J. Teknol. Manufaktur*, vol. 12, no. 02, 2020.
- [4] R. Hakim, I. Saputra, G. P. Utama, and Y. Setyoadi, "Pengaruh Temperatur Nozzle dan Base Plate Pada Material PLA Terhadap Nilai Masa Jenis dan Kekasaran Permukaan Produk Pada Mesin Leapfrog Creatr 3D Printer," *J. Teknol. dan Ris. Terap.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2019, doi: 10.30871/jatra.v1i1.1242.
- [5] 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.

- [6] H. Tondi, "Rancang Bangun Mesin Ekstruder Filamen 3D Printer," Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, 2019.
- [7] C. Mawardi, *Pengantar 3D Printing*. Jakarta: Polimedia, 2020.
- [8] K. Minchenkov, A. Vederkinov, A. Safonov, and I. Akhatov, "Thermoplastic Pultrusion: A Review," *Journals Polym.*, vol. 12, no. 3, 2021.
- [9] C. Budiantoro, H. S. B.Rochardjo, and G. Nugroho, "Effects of Processing Variables of Extrusion–Pultrusion Method on the Impregnation Quality of Thermoplastic Composite Filaments," *Journals Polym.*, vol. 12, no. 12, 2020.
- [10] F. E. Nugroho, F. Putri, and I. Gunawan, "Analisa Pengaruh Kemiringan Sudut Screw Extruder Terhadap Keakuratan Diameter Filament 3D Printer Berbahan Recycled Abs,Recycle Hdpe, Dan Polypropylene," *Mach. J. Teknol. Terap.*, vol. 4, no. 1, pp. 36–42, 2023, doi: doi.org/10.5281/zenodo.7684182.
- [11] S. L. Simanora, "Studi Tentang Implementasi 3d Printer Snapmaker Dalam Merancang Suatu Sampel Dasar Produk," Universitas HKBP Nommensen, 2022.
- [12] Nawari, *Analisis statistik dengan MS Excel 2007 dan SPSS 17 /*. Jakarta: Elex Media Komputindo, 2010.
- [13] G. F. Utami, D. Suhaedi, and E. Kurniati, "Perbandingan Metode Regresi Linier dan Non-Linier Kuadratik Pada Peramalan Penjualan Air Minum," *J. Mat.*, vol. 20, no. 2, pp. 33–40, 2021.
- [14] Sujarwo, "Pemilihan Model Persamaan Regresi Dua Variabel Dengan Menggunakan Koefisien Korelasi Dan Nilai Mean Square Error," *J. Politek.*, vol. 14, no. 02, pp. 94–108, 2019.