

Pengaruh Parameter Suhu *Barrel* Terhadap Diameter Filamen *Polypropylene* 3D Printing Hasil Ekstrusi

Attila Maesa Jenar, I Made Gatot Karohika, dan I Made Widiyarta
Program Studi Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Perkembangan teknologi membawa perubahan besar pada dunia manufaktur. Popularitas 3D *printing* sebagai metode pembuatan *prototype* yang cepat dan efisien, namun harga filamen di pasaran relatif mahal. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan filamen berbahan *polypropylene* dengan menggunakan metode ekstrusi, serta untuk menganalisis pengaruh variasi suhu *barrel* terhadap diameter dan material permukaan filamen yang dihasilkan. Proses ekstrusi dilakukan dengan menggunakan mesin *filatec filament extruder* dengan variasi suhu *barrel* 160°C dan 180°C, kecepatan *screw* 11 rpm, kecepatan *puller* 18 rpm, dan media pendingin *fan*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu *barrel* berpengaruh terhadap nilai diameter filamen yang dihasilkan. Pada suhu 180°C diameter yang dihasilkan sebesar 1,41 mm. Analisis penampang filamen menggunakan *microscope* digital dan bantuan *software* amcap menunjukkan bahwa pada kedua variasi suhu *barrel* tidak ditemukannya *void* pada hasil filamen, yang mengindikasikan permukaan filamen yang padat. Kesimpulan dari penelitian ini, semakin tinggi suhu *barrel*, maka semakin besar diameter filamen yang dihasilkan.

Kata kunci: *filament 3D printing*, *polypropylene*, ekstrusi, suhu

Abstract

Technological advancement have brought significant changes to the manufacturing world. Although 3d printing has gained popularity as a rapid and efficient prototyping method, the price of commercially available filament remains relatively high. This study aims to produce filament made from polypropylene using the extrusion method, and to analyze the effect of barrel temperature variation on the filament's diameter and surface material. The extrusion process was carried out using a Filatec filament extruder with barrel temperature of 160°C and 180°C, screw speed 11 rpm, puller speed 18 rpm, and using fan cooling method. The result show that increasing the barrel temperature affects the filament diameter produced, with a diameter of 1,66 mm obtained at 180°C. analysis surface of the filament using a digital microscope with amcap software revealed that No. voids were found at either barrel temperature, indicating a solid filament surface. The study concludes that the higher barrel temperature was, lead to larger filament diameters.

Keywords: *3D printing filament*, *polypropylene*, *extrusion*, *temperature*

1. Pendahuluan

Hadirnya teknologi membawa perubahan besar pada dunia manufaktur. 3D *printing* menjadi terobosan yang sangat populer di dunia, terutama pada bidang akademis dan industri [1]. Tahun 2017 pendapatan global dari 3D *printing* mencapai €6,19 miliar, dan diperkirakan pada tahun 2024, akan mencapai €29,99 miliar dan akan terus bertambah seiring dengan berjalannya teknologi di dunia ini. Untuk menjalankan suatu proses 3D *printing*, diperlukan filamen berbahan plastik. Filamen yang dijual di pasaran memiliki harga yang tinggi, sekitar Rp 200.000 per kilogramnya, bergantung dengan jenis dan kualitas dari filamen tersebut [2]. Karena mahalnya harga filamen yang beredar di pasaran, maka dapat dibuat suatu filamen dengan menggunakan metode ekstrusi.

Ekstrusi merupakan proses pembuatan di mana plastik mentah akan dileburkan dan dibentuk menjadi barang yang menghasilkan profil berbentuk pipa. Plastik mentah akan dilelehkan dan dibentuk kembali menjadi berbagai produk dengan profil yang terus-menerus. Langkah awal plastik akan dipanaskan hingga mencapai titik leleh dan berubah menjadi cairan. Selanjutnya, polimer yang sudah mencair akan

dipaksa melewati cetakan yang membentuknya sesuai dengan keinginan, dan kemudian didinginkan agar polimer cair tersebut dapat mengeras [3]. Filamen adalah bahan yang digunakan untuk membuat suatu *prototype* dari model 3D.

Penelitian mengenai filamen 3D *printing* berbahan *polypropylene* dengan metode ekstrusi telah dilakukan oleh para peneliti. [4] melakukan proses ekstrusi dengan menggunakan parameter suhu, kecepatan *puller*, dan kecepatan *screw*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa variasi suhu berpengaruh terhadap filamen yang akan dihasilkan.

Pada penelitian ini akan dilakukan sebuah analisa produk filamen 3D *printing* berbahan *polypropylene virgin*, yang mencakup diameter filamen dengan menggunakan parameter suhu *barrel* 160°C dan 180°C, kecepatan *screw* 11 rpm, dan media pendingin *fan*, kecepatan *puller* 18 mm.

Dalam hal ini akan membahas Bagaimana parameter suhu *barrel* dapat mempengaruhi diameter filamen yang dihasilkan.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Penelitian ini dilakukan menggunakan ukuran *nozzel* 1,8 mm

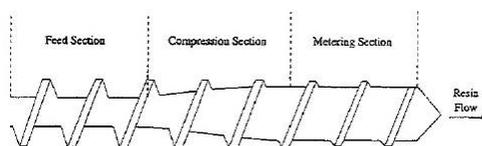
2. Pada saat proses produksi filamen suhu ruangan dikondisikan pada suhu lingkungan 24°C.
3. Kecepatan *puller* 18 rpm
4. Kecepatan *screw* 11 rpm

2. Dasar Teori

Filamen merupakan bahan baku termoplastik yang digunakan untuk membuat suatu *prototype* pada mesin 3d printer [5]. Secara internasional, ukuran diameter filamen yang digunakan pada mesin 3D *printing* yaitu 1,75 mm dengan toleransi $\pm 0,05$ mm [6]. Jika diameter yang dihasilkan terlalu kecil, maka proses ekstrusi akan mengurangi jumlah material yang dibutuhkan sehingga filamen gagal masuk ke dalam *hot end*. Jika diameter yang dihasilkan terlalu besar, maka proses 3D *printing* akan mengalami kelebihan material sehingga ekstruder tidak cukup kuat untuk menarik filamen masuk ke dalam *hot end* [4].

Pada umumnya proses ekstrusi dimulai dengan memasukkan biji plastik ke dalam *hopper* yang nantinya akan masuk ke dalam *screw*. Bahan tersebut akan dicairkan oleh pemanas sepanjang *screw*. plastik yang sudah mencair akan didinginkan dan mengeras salah satu pemanfaatan ekstrusi yaitu dapat menghasilkan filamen 3D *printing* [3].

Pada mesin ekstrusi terdapat *screw* yang berfungsi untuk mendorong material plastik untuk melewati *nozzel*. Ekstruder *screw* memiliki beberapa fungsi zona antara lain: *feed section*, *compression section*, dan *metering section* [7].



Gambar 1. Screw Zone

Pada bagian *feed section* material plastik akan jatuh dari *hopper* menuju *screw* yang nantinya akan dialirkan untuk lanjut menuju *compression section* [8]. Pada *compression section* material akan mulai dilelehkan dan berubah bentuk menjadi semi-cair [7], pada bagian ini juga terjadi kompresi yang menyebabkan suhu semakin tinggi. Selanjutnya material akan masuk pada *metering section*, di mana plastik sudah sepenuhnya mencair dan akan diteruskan menuju *nozzel* [7]

Pada dasarnya plastik dibagi menjadi 3 jenis, yaitu *thermoplastic*, *elastomer*, dan *thermosets*. *Thermoplastic* merupakan bahan yang jika dipanaskan pada suhu tertentu, plastik tersebut dapat mencair dan dibentuk kembali [9], *elastomer* merupakan bahan yang jika dipanaskan, *elastomer* tidak dapat meleleh dan tahan terhadap sebagian besar pelarut [10]. *Thermoset* merupakan bahan plastik yang jika dipanaskan secara berulang dapat menyebabkan kerusakan pada molekul-molekulnya [11].

Polypropylene (PP) merupakan salah satu *thermoplastik* yang banyak digunakan di berbagai aplikasi. PP merupakan jenis hidrokarbon yang dapat diolah pada temperatur yang tinggi. PP juga merupakan polimer ketiga terbesar setelah PE dan PVC karena sifatnya yang unggul dan nilai ekonomisnya. Plastik jenis PP memiliki dua temperatur transisi, yaitu temperatur transisi *glass* (sekitar -15°C) dan temperatur transisi leleh sekitar 176°C). Temperatur transisi *glass* merupakan temperatur di mana terjadi perubahan dari fase *glass* (kaku) menjadi *rubbery* (lentur). Sedangkan temperatur transisi leleh merupakan keadaan di mana plastik berubah fase dari padat menjadi fase cair [12].

Tabel 1. Properti Material Plastik PP

Material Property	PP (Polypropylene)
Density	0.90-0.91 g/cm ³
Glass Transition Temperature (T _g)	-20 – 20°C
Melting Point (T _m)	160-165°C
Processing temperature	200 – 300°C
Heat Deflection Temperature at 0,46 Mpa	100°C
Tensile Strength at Yield	26 MPa
Young's Modulus	1.3 – 1.5 GPa
Flexural Modulus	1.5 – 2 GPa
Impact Strength (Notched Izod Impact at 23°C)	2.1 m

3. Metode Penelitian

Penelitian ini mempergunakan peralatan dan bahan sebagai berikut:

1. Biji plastik *polypropylene virgin* (PP-V).
2. Mesin ekstrusi *filatec filament extruder 3D printing*
3. *Tachometer* (pengukur kecepatan *puller* dan *screw*)
4. Tang potong (memotong filamen pada bagian akhir proses ekstrusi)
5. Alat pembersih *nozzel*
6. Pinset (alat bantu untuk mengarahkan filamen dari *nozzel* sampai *puller*)
7. Timbangan (menimbang hasil akhir filamen)
8. *Stop watch* (mencatat waktu selama proses ekstrusi selama 5 menit)
9. Jangka sorong (mengukur hasil diameter filamen)

Proses pengukuran diameter dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

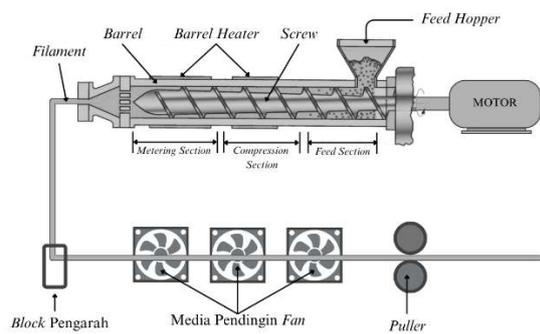
1. Setiap filamen yang dihasilkan selama 20 menit, diukur hasil total panjang filamen dengan mal yang sudah dibuat.

2. Kemudian timbang hasil filamen dengan cara menggulung filamen menjadi lingkaran.
3. Ukur diameter filamen menggunakan jangka sorong setiap 10 cm.

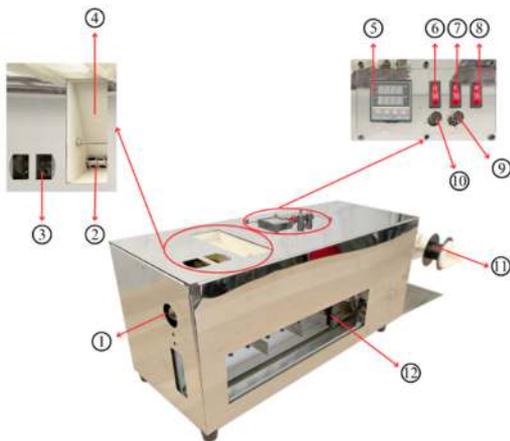


$$\text{Diameter rata-rata} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{\text{jumlah titik } n} \quad (1)$$

Gambar 2 menunjukkan skematik proses ekstrusi dan gambar aktualnya. Sedangkan Gambar 3 menunjukkan mesin ekstrusi *filatec filament extruder 3D printing*.



Gambar 2. Skema Proses Ekstrusi dengan Media Pendingin Fan



Gambar 3. Mesin Filatec Filament Extruder 3D Printing

Keterangan:

1. Nozzel/Die (diameter nozzel 1,8 mm)
2. Screw
3. Heater Barrel
4. Hopper
5. PID controller
6. Screw switch
7. Puller switch
8. Winder switch
9. Switch knob puller dan winder
10. Switch knob kecepatan screw

11. Winder
12. Puller

4. Hasil dan Pembahasan

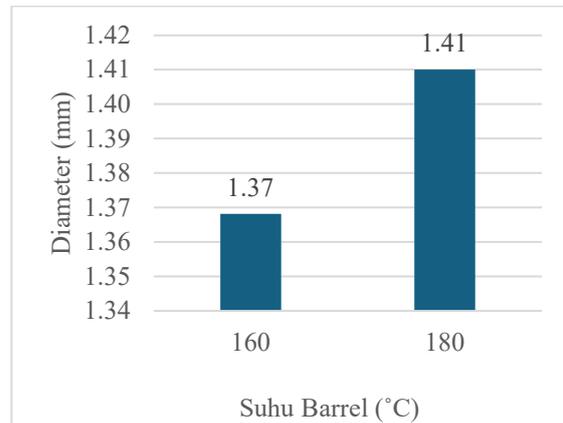
4.1. Pengaruh Parameter Suhu Barrel 160°C dan 180°C Terhadap Diameter Filamen

Dari hasil pengujian dengan menggunakan bahan PP, kecepatan *screw* 11 rpm, kecepatan *puller* 18 rpm, dan media pendingin *fan*, maka didapatkan hasil diameter filamen dengan suhu *barrel* 160°C dan 180°C pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Data Hasil Filamen

No. Variasi	Suhu Barrel (°C)	Panjang Filamen (m)	Rata-Rata Diameter
1	160	690	1,37
2	180	697	1,41

Untuk mempermudah pembacaan maka dibuat grafik sebagai berikut.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Parameter Suhu Terhadap Diameter Filamen

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pada suhu *barrel* 160°C, diameter yang dihasilkan sebesar 1,37 mm. Sementara itu, pada suhu 180°C, diameter yang dihasilkan sebesar 1,41 mm. Berdasarkan hasil tersebut, suhu *barrel* dapat mempengaruhi diameter filamen yang dihasilkan, semakin tinggi suhu *barrel* maka cenderung akan menghasilkan diameter filamen yang lebih besar.

Namun demikian diameter yang dihasilkan belum mencapai standar diameter filament yang dijual dipasaran sebesar 1,75 mm, hal ini disebabkan karena kecepatan *puller* yang terlalu tinggi jika di bandingkan dengan kecepatan *screw*.

4.2. Kondisi Penampang Material Filamen yang Dihasilkan

Kondisi penampang material filamen dapat dilihat menggunakan digital *microscope* dengan bantuan *software* amcap. Foto penampang diambil pada tiga titik yang berbeda yaitu bagian awal, tengah, dan akhir dari hasil filamen.

No	Suhu Barrel (°C)	Kondisi Material Filamen	Keterangan
1	160	(A) 	Tidak terdapat Void
		(B) 	Tidak terdapat Void
		(C) 	Tidak terdapat Void

No	Suhu Barrel (°C)	Kondisi Material Filamen	Keterangan
1	180	(A) 	Tidak terdapat Void
		(B) 	Tidak terdapat Void
		(C) 	Tidak terdapat Void

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap filamen, ditemukan bahwa pada semua parameter pengujian tidak ditemukan adanya *void*. Hasil penampang filamen berbentuk lingkaran padat tanpa rongga.

5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis pengaruh variasi suhu *barrel* terhadap diameter filamen yang dihasilkan, dapat disimpulkan bahwa pada semua parameter pengujian, variasi suhu *barrel* berpengaruh terhadap diameter filamen yang dihasilkan. Semakin meningkatnya suhu *barrel*, maka diameter yang dihasilkan akan semakin besar. Pada percobaan dengan menggunakan suhu *barrel* 180°C, kecepatan *puller* 18 rpm, dan media pendingin *fan* didapatkan hasil diameter sebesar 1,41 mm. Pada pengujian ini menghasilkan penampang material filamen yang *solid* atau tidak terdapat *void*.

Daftar Pustaka

- [1] Prisriansyah, Hasdiansyah, and Sugiyarto, 2019, Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex, *Jurnal Teknologi Manufaktur*, vol. 11, no. 01.
- [2] M. Azzam, 2023, Rancang Bangun Mesin Filament Maker Sebagai Pengolah Limbah Botol Plastik Polyethylene Therephtalathe Menjadi Material 3d Printer, Universitas Global Jakarta, Jakarta.
- [3] M. A. Chandra and M. F. Hidayat, 2022, Kekerasan Filamen Hasil Ekstrusi Berbahan Dasar Limbah Plastik Low-Density Polyethylene dengan Metode Ekstrusi, *Jurnal Tematis (Teknologi, Manufaktur dan Industri)*, vol. 3, no. 2.
- [4] Herianto, S. I. Atsani, and H. Mastrisiswadi, 2020, *Recycled Polypropylene Filament for 3D Printer: Extrusion Process Parameter Optimization*, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics.
- [5] I. Azami, P. Kurniasih, Subuhiah, A. Amantha, N. Habiiburrahman, and N. H. Sari, 2024, Filamen printer 3D berbasis limbah PET (polyethylene terephthalate) dan kitosan cangkang udang, *Dinamika Teknik Mesin*, vol. 14, no. 1, p. 82.
- [6] M. Oyinlola, S. A. Okoya, T. Whitehead, M. Evans, and A. S. Lowe, 2023, The potential of converting plastic waste to 3D printed products in Sub-Saharan Africa, *Resources, Conservation & Recycling Advances*, vol. 17, p. 200129.
- [7] E. Iunolainen, 2017, *Suitability of recycled PP for 3D printing filament*, Arcada University of Applied Sciences, Helsinki.
- [8] Harold. Giles, J. R. Wagner, and E. M. Mount, 2005, *Extrusion Additives. Vol. 1*. William Andrew, Inc.
- [9] G. L. Sari, 2017, Kajian Potensi Pemanfaatan Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar Cair, *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 3, no. 1, pp. 6–13.
- [10] J. Grimm, 2017, *Statt Plastik: Schöne Sachen zum Selbermachen - das Ideenbuch für Einfälle statt Abfälle*, 2nd ed. pala verlag gmbh.

- [11] A. A. Hapis, M. Sanuddin, H. Parman, and A. C. Murfi, 2023, Bahaya Penggunaan Plastik bagi Kesehatan di Sekolah Madrasah Aliyah Negeri 1 Olak Kemang Kota Jambi, *Jurnal Pengabdian KITA*, vol. 6.
- [12] M. N. A. Setyabudi and M. Chalid, 2013, Karakteristik Material Regrind Komposit PP/Talcum Hasil Proses Hot Melt Mixing, Depok.

