

Pengaruh *Layer Height* & *Print Speed* Terhadap Nilai Kekerasan Pada Spesimen Produk Berfilamen TPU 95A.

Ramdan Rizki Munggaran¹, Dani Mardiyana,^{2,*}, Zaid Sulaiman³

^a Teknik Mesin, Universitas Nusa Putra, Sukabumi, Indonesia

¹ ramdan.rizki_tm21@nusaputra.ac.id ^{2,*} dani.mardiyana@nusaputra.ac.id; ³ zaid.sulaiman@nusaputra.ac.id

* Coressponding Author

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi parameter *layer height* dan *print speed* terhadap nilai kekerasan spesimen material TPU 95A menggunakan teknologi 3D *printing* FDM. Spesimen dicetak dengan 6 kombinasi parameter yang berbeda yang terdiri dari dua nilai *layer height* (0,2 mm dan 0,25 mm) dan tiga nilai *print speed* (70 mm/s, 80 mm/s, 90 mm/s). Pengujian kekerasan dilakukan sesuai dengan standar ASTM D2240 menggunakan Durometer Digital Shore A. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi *layer height* yang lebih rendah dan *print speed* yang lebih lambat cenderung menghasilkan spesimen dengan nilai kekerasan lebih tinggi. Variasi 1 (*layer height* 0,2 mm dan *print speed* 70 mm/s) menghasilkan nilai kekerasan tertinggi (73,3 HA), sedangkan Variasi 5 (*layer height* 0,2 mm dan *print speed* 90 mm/s) menghasilkan nilai kekerasan terendah (60,9 HA). Penelitian ini menunjukkan pentingnya optimasi parameter proses cetak untuk mencapai sifat mekanik yang diinginkan.

Kata kunci

3D *printing*
FDM
TPU 95A
Layer height
Print speed

1. Pendahuluan

Di era teknologi 4.0 saat ini teknologi 3D *printing* kini mulai banyak digunakan di industri manufaktur sebagai alat produksi yang dapat menghasilkan produk dengan waktu yang cepat dan juga murah [1][2]. 3D *printing* merupakan salah satu bagian dari teknologi *additive manufacturing* (AM) yang dapat membuat objek 3D dengan berbagai bentuk dan dimensi ukuran [3]. Teknik yang sering digunakan untuk ini adalah *Fused Deposition Modeling* (FDM) [4]. Prinsip kerja 3D *printing* ini adalah menggunakan metode lapis demi lapis. Artinya, filamen dicetak dan dipanaskan kemudian di ekstrusi selapis demi selapis hingga tercipta suatu objek yang utuh [5].

Filament yang banyak digunakan pada teknologi FDM ini yaitu antara lain *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), *Polylactic Acid* (PLA) *nylon*, *polyethylene terephthalate glycol* (PETG) dan *polycarbonat* (PC) [6]. Tetapi, teknologi FDM saat ini semakin berkembang, terutama dalam penggunaan material yang memiliki sifat fleksibel sebagai bahan dasar utama [7]. Salah satu material yang berkembang saat ini dan memiliki sifat fleksibel adalah TPU 95A (*Thermoplastic Polyurethane*) [8]. Material TPU 95A ini memiliki karakteristik elastisitas yang tinggi, daya lentur yang baik, dan kekerasan yang baik [9][10]. Namun, diperlukan beberapa pengaturan parameter pada percetakan 3D *printing* yang tepat, seperti *print speed*, *layer height*, *infill density*, dan *printing temperature* untuk mendapatkan sifat mekanik yang baik untuk produk berfilament TPU 95A [11].

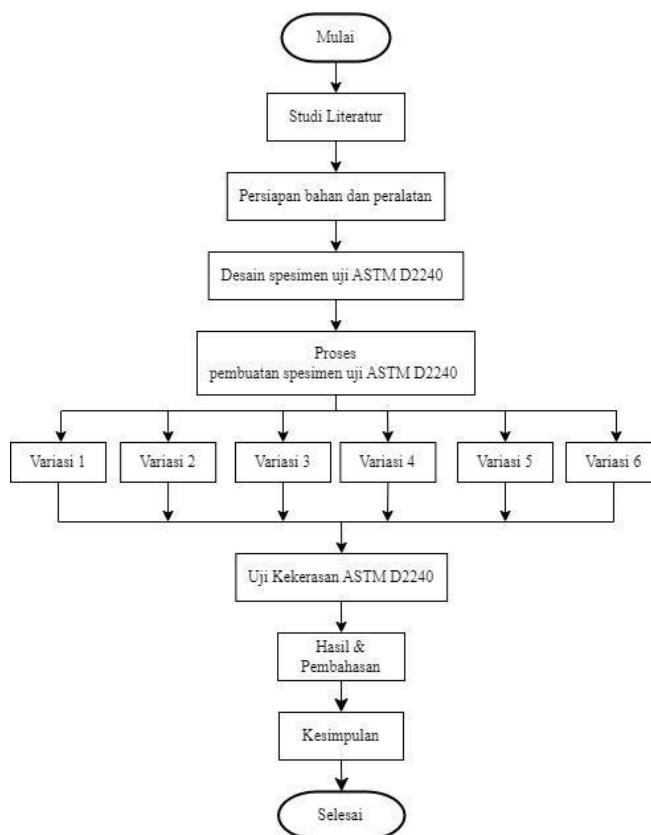
Penelitian pada penggunaan material Elastomer dan non elastomer dengan proses FDM telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya dengan tujuan yang beragam. Hasdiansah dkk (2018) meneliti tentang pengaruh parameter proses 3D *printing* terhadap elastisitas produk TPU (*Thermoplastic Polyurethane*). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa ekstruder temperature dan layer thickness berpengaruh signifikan terhadap nilai elastisitas produk yang dihasilkan dari filamen TPU [5]. Selain itu, Ahmad Zamheri dkk (2021) menunjukkan parameter terbaik untuk kekerasan filament eAl-fill adalah pada penggunaan Layer Height 0,25 mm, Print Speed 25mm/s dan Print temperature 220° C, dengan nilai kontribusi sebesar 41.929 % [12].

Hingga saat ini penelitian mengenai filament TPU 95A ini masih sangat terbatas, oleh karena itu mendorong dilaksanakannya penelitian ini untuk mendukung kemajuan teknologi 3D *printing* pada dunia industri manufaktur. nilai kekerasan dari produk TPU hasil cetak 3D *Printing* ini merupakan salah satu titik penting sebagai penunjang penggunaan material ini terhadap aplikasi tersebut. Berdasarkan

latar belakang serta tinjauan yang telah dilaksanakan sebelumnya, Penelitian ini di fokuskan pada dua parameter cetak yaitu *layer height* dan *print speed* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai kekerasan material TPU 95A. Walaupun penggunaan variasi parameter *layer height* dan *print speed* telah dilakukan penelitian sebelumnya, akan tetapi pengaruhnya terhadap material TPU 95A masih belum ada penelitiannya. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi *3D printing* menggunakan material fleksibel seperti filamen TPU-95A.

2. Bahan dan Metode

Pada penelitian menggunakan metode *eksperimental*. Untuk mempermudah dalam melakukan penelitian dibuat diagram alir seperti gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1. Material

Pada penelitian ini, filamen TPU 95A yang digunakan berwarna putih transparan merk eSun sebagai bahan material dasar untuk pembuatan spesimen uji kekerasan. Adapun spesifikasi dari filament TPU 95A yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi filament TPU 95A

Spesifikasi	TPU 95A
Diameter	1.75 mm
Printing Temperature	220 – 250 °C
Printing Speed	20 – 100 mm/s
Bed Temperature	45 - 60 °C

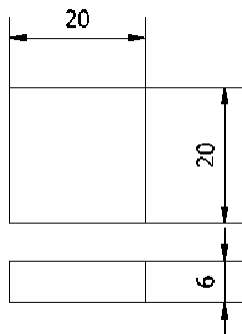
2.2 Proses Pembuatan Spesimen

Pada penelitian ini spesimen uji kekerasan dibuat menggunakan mesin 3D printer Ender-3 Pro. Spesimen uji kekerasan didesain menggunakan *software autodesk inventor*, dimensi spesimen uji mengacu pada standar pengujian kekerasan ASTM D2240 untuk material polimer dan campuran dan disimpan dalam format file *standard tessellation language* (STL), kemudian file STL tersebut dimasukkan kedalam *Software Ultimacer Cura* yang digunakan mensetting parameter printing lalu di rubah kedalam format G code dan di simpan kedalam SD Card untuk kemudian di lakukan proses pencetakan menggunakan mesin 3D Printer. Terdapat 2 Parameter yang digunakan dalam proses cetak spesimen uji kekerasan yaitu Parameter tetap dan parameter variasi, parameter tetap yang digunakan yaitu sebagai berikut: *Infill density* 100%, *bed temperature* 60⁰ C, *Printing temperature* 220^o C dan *infill fatterns* berjenis *consentric*. Sedangkan parameter variasi ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Parameter variasi

Layer height (mm)	Print speed (mm/s)	Variasi Parameter
0,2	70	Variasi 1
0,25	70	Variasi 2
0,2	80	Variasi 3
0,25	80	Variasi 4
0,2	90	Variasi 5
0,25	90	Variasi 6

Total sebanyak 6 spesimen uji kekerasan yang telah dibuat dengan menggunakan beberapa parameter variasi cetak. Spesimen uji kekerasan berbentuk persegi dengan dimensi ukuran 2 x 2 x 6 mm, mengikuti standar ASTM D2240 seperti pada gambar 2. Sedangkan gambar 3 menunjukkan foto spesimen hasil cetak.



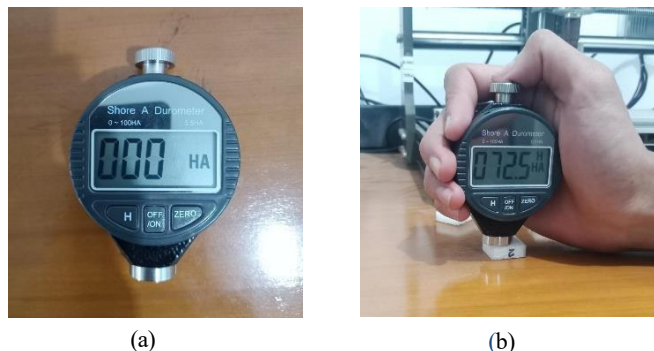
Gambar 2. Dimensi spesimen uji kekerasan



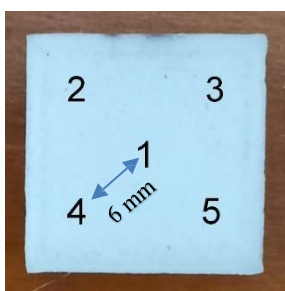
Gambar 3. Spesimen hasil cetak

2.4 Prosedur Pengujian

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan Durometer Digital Shore A dengan tingkat ketelitian 0,01 seperti yang terlihat pada Gambar 4 (a). Proses pengujian kekerasan dilakukan sesuai dengan standar ASTM D2240. tahapannya meliputi: memastikan spesimen bebas dari kotoran dan di letakkan pada bidang yang rata, menyiapkan dan mengkalibrasi durometer, tekan durometer secara tegak lurus pastikan indentor tertancap sempurna pada permukaan spesimen, pengujian dilakukan pada lima titik yang berbeda dengan jarak antar titik pengukuran setidaknya 6 mm antar titik pengukuran lainnya seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 4. (a) Durometer digital shore A (b) Proses pengujian spesimen



Gambar 5. Ilustrasi titik pengujian pada spesimen

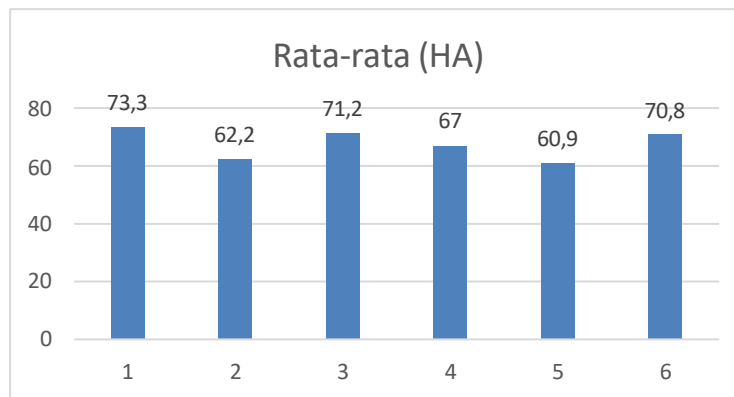
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Kekerasan

Dari hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan terhadap spesimen filament TPU 95A yang dibuat dengan variasi parameter *layer height* dan *print speed*, didapatkan data berupa nilai hasil pengujian, data tersebut disajikan dalam tabel 3 dan gambar 6.

Tabel 3. Hasil pengujian kekerasan spesimen

Spesimen	Layer Height (mm)	Print Speed (mm/s)	Nilai kekerasan Shore A					Rata-rata (HA)
			Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	
Variasi 1	0,2	70	70.5	73.5	75.5	73	74	73.3
Variasi 2	0,25	70	63	61	62	60.5	64.5	62.2
Variasi 3	0,2	80	71.5	70.5	70.5	71	72.5	71.2
Variasi 4	0,25	80	66.5	69.5	62.5	69.5	67	67
Variasi 5	0,2	90	60.5	62	59.5	63.5	59	60.9
Variasi 6	0,25	90	70	71.5	70	70.5	72	70.8



Gambar 6. Grafik nilai rata-rata uji kekerasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang cukup signifikan dari variasi *layer height* dan *print speed* terhadap nilai kekerasan spesimen hasil cetak 3D Printer. Berdasarkan data yang diperoleh dari Tabel 2, terlihat bahwa variasi parameter proses cetak menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda-beda pada setiap spesimen. Pada penelitian ini terdapat enam variasi parameter, di mana setiap variasi merupakan kombinasi dari dua nilai *layer height*, yaitu 0,2 mm dan 0,25 mm, serta tiga nilai *print speed*, yaitu 70 mm/s, 80 mm/s, dan 90 mm/s.

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian kekerasan dari setiap variasi parameter dengan lima kali pengujian. Sementara gambar 6 menunjukkan hasil nilai rata-rata pengujian kekerasan, grafik tersebut menunjukkan nilai rata-rata kekerasan terendah 60,9 HA sampai tertinggi 73,3 HA. Berdasarkan data-data tersebut menunjukkan bahwa Variasi 1, dengan penggunaan kombinasi *layer height* 0,2 mm dan *print speed* 70 mm/s, memberikan nilai kekerasan paling tinggi yaitu 73,3 HA. Sementara itu, Variasi 5, yang menggunakan kombinasi *layer height* 0,2 mm dan *print speed* 90 mm/s, menghasilkan nilai kekerasan paling rendah sebesar 60,9 HA. Hal ini menunjukkan bahwa *layer height* yang lebih rendah dan *print speed* yang lebih lambat cenderung menghasilkan spesimen dengan kekerasan yang lebih tinggi.

3.2 Pembahasan

Salah satu faktor utama yang mempengaruhi nilai kekerasan spesimen adalah *layer height*. Penggunaan *layer height* yang lebih rendah dapat memberikan hasil kekerasan yang lebih baik pada spesimen. Lapisan yang lebih tipis, yaitu 0,2 mm, menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan yang lebih tebal, yaitu 0,25 mm. Seperti, pada Variasi 1 dan Variasi 3, yang menggunakan *layer height* 0,2 mm, nilai kekerasan rata-rata masing-masing adalah 73,3 HA dan 71,2 HA. Sebaliknya, pada variasi yang menggunakan *layer height* 0,25 mm, seperti Variasi 2 dan Variasi 4, nilai kekerasan rata-rata masing-masing adalah 62,2 HA dan 67 HA. Hal ini disebabkan karena penggunaan *layer height* yang lebih kecil dapat menghasilkan lapisan yang lebih tipis, sehingga meningkatkan kepadatan dan mengurangi porositas pada spesimen. Lapisan yang lebih tipis memungkinkan daya rekat antar lapisan menjadi lebih baik juga menghasilkan struktur yang lebih padat dan homogen [13].

Print speed juga merupakan parameter yang berpengaruh dalam proses 3D Printing. Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan *print speed* yang lebih lambat, yakni 70 mm/s, dapat memungkinkan material pada saat proses pencetakan memiliki lebih banyak waktu untuk mengeras dan membentuk ikatan yang lebih baik antar lapisan, sehingga menghasilkan spesimen dengan kekerasan yang lebih tinggi [14]. Hal ini terlihat dalam hasil uji kekerasan pada Variasi 1, yang menggunakan kombinasi *print speed* 70 mm/s dan *layer height* 0,2 mm, dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 73,3 HA. Sebaliknya, pada *print speed* yang lebih tinggi, seperti pada Variasi 5, yang menggunakan *print speed* 90 mm/s, nilai kekerasan menurun hingga 60,9 HA.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi *layer height* yang lebih kecil dan *print speed* yang lebih rendah menghasilkan spesimen dengan kekerasan yang lebih tinggi. Kombinasi parameter ini memberikan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan variasi lainnya. Terbukti

dari variasi 1, dengan *layer height* 0,2 mm dan *print speed* 70 mm/s, memberikan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan Variasi 5, yang memiliki *layer height* yang sama tetapi *print speed* yang lebih tinggi. Namun, peningkatan *print speed* hingga 90 mm/s dan *layer height* 0,25 mm seperti pada variasi 6 tidak selalu berdampak negatif pada nilai kekerasan, hal ini menunjukkan bahwa peningkatan *print speed* mampu mengkompensasi *layer height* yang lebih besar, dengan menghasilkan lapisan yang lebih padat dan stabil, namun tetap lebih rendah dibandingkan hasil pada *layer height* yang lebih rendah (0,2 mm).

Berdasarkan hasil penelitian ini, menunjukkan bahwa optimasi parameter cetak 3D *printing* sangat penting untuk mencapai sifat mekanik yang diinginkan. Dalam hal ini, *layer height* 0,2 mm dan *print speed* 70 mm/s merupakan kombinasi parameter yang paling optimal untuk menghasilkan spesimen dengan kekerasan yang tinggi. Penelitian ini memiliki implikasi yang signifikan untuk pengembangan teknologi 3D *printing*, terutama dalam hal optimasi parameter proses untuk menghasilkan produk dengan sifat mekanik yang diinginkan. Dalam industri *aditif manufacturing*, pemilihan parameter cetak yang tepat sangat penting untuk memastikan kualitas suatu produk akhir.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan menunjukkan bahwa kombinasi parameter cetak yang optimal dapat menghasilkan spesimen dengan kekerasan lebih tinggi. Maka dari itu pada penelitian ini dapat di simpulkan bahwa:

- *Layer height* yang lebih rendah (0,2 mm) menghasilkan spesimen dengan kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan *layer height* yang lebih tinggi (0,25 mm).
- *Print speed* yang lebih lambat (70 mm/s) cenderung menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi karena material memiliki lebih banyak waktu untuk mengeras dan membentuk ikatan yang lebih baik antar lapisan.
- Kombinasi *layer height* 0,2 mm dan *print speed* 70 mm/s memberikan nilai kekerasan tertinggi sebesar 73,3 Shore A, sementara kombinasi *layer height* 0,2 mm dan *print speed* 90 mm/s menghasilkan kekerasan terendah sebesar 60,9 Shore A.

Referensi

- [1] O. C. Pangaribuan and I. Irwansyah, "Media Cetak Indonesia di Era Revolusi Industri 4.0," *J. Pewarta Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 134–145, 2019, doi: 10.25008/jpi.v1i2.11.
- [2] P. Priistiansyah, H. Hasdiansah, and S. Sugiyarto, "Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex," *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 11, no. 01, pp. 33–40, 2019, doi: 10.33504/manutech.v11i01.98.
- [3] P. Priistiansyah, H. Hasdiansah, and A. Ferdiansyah, "Pengaruh Parameter Proses Pada 3D Printing FDM Terhadap Kekuatan Tarik Filament ABS CCTREE," *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 14, no. 01, pp. 15–22, 2022, doi: 10.33504/manutech.v14i01.210.
- [4] H. A. Pamasaria, Herianto, and T. H. Saputra, "Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Tipe Fdm (Fused Deposition Modeling) Terhadap Kualitas Hasil Produk," *Semin. Nas. IENACO*, pp. 1–7, 2019.
- [5] Hasdiansah and Herianto, "Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Elastisitas Produk Yang Dihasilkan," *Semin. Nas. Inov. Teknol. UN PGRI Kediri*, pp. 187–192, 2018.
- [6] E. I. Riza, C. Budiyanoro, and A. W. Nugroho, "Peningkatan Kekuatan Lentur Produk 3D Printing Berbahan Petg Dengan Optimasi Parameter Proses Menggunakan Metode Taguchi," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 21, no. 2, pp. 66–75, 2020, doi: 10.23917/mesin.v21i2.10856.
- [7] E. Paz, M. Jiménez, L. Romero, M. del M. Espinosa, and M. Domínguez, "Characterization of the resistance to abrasive chemical agents of test specimens of thermoplastic elastomeric polyurethane composite materials produced by additive manufacturing," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 138, no. 32, pp. 1–11, 2021, doi: 10.1002/app.50791.
- [8] M. Dylan, A. Soewono, and M. Darmawan, "Laju Aliran pada Nozzle Printer Tiga Dimensi

- untuk Material Thermoplastic PolyurethanePOLYURETHANE,” *Cyclinder*, vol. 08, no. 01, pp. 1–7, 2022.
- [9] M. H. Nadhif *et al.*, “Anatomically and Biomechanically Relevant Monolithic Total Disc Replacement Made of 3D-Printed Thermoplastic Polyurethane,” *Polymers (Basel)*., vol. 14, no. 19, 2022, doi: 10.3390/polym14194160.
- [10] D. Mardiyana, “Optimalisasi Sifat Mekanik Produk 3D Printing FDM Berfilamen TPU 95A untuk Car Bumper Guard menggunakan Metode Taguchi,” 2023.
- [11] M. Rivaldi, M. Yunus, and P. Pristiansyah, “Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kuat Bentur Menggunakan Fiamen Polycarbonate,” *J. Inov. Teknol. Terap.*, vol. 1, no. 1, pp. 223–230, 2023, doi: 10.33504/jitt.v1i1.93.
- [12] A. Zamheri, F. Arifin, and I. Apriansyah, “Pengaruh Parameter Pada Proses 3D Printing Menggunakan Filament Eal-Fill Terhadap Akurasi Dimensi Dan Kekerasan Dengan Pendekatan Metode Taguchi,” *J. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 30–34, 2021.
- [13] M. Eryildiz, “The effect of layer thickness on the mechanical properties of 3D printed parts by Finite Element Analysis Method,” no. March, 2022.
- [14] A. P. Valerga, M. Batista, J. Salguero, and F. Girot, “Influence of PLA filament conditions on characteristics of FDM parts,” *Materials (Basel)*., vol. 11, no. 8, 2018, doi: 10.3390/ma11081322.