

Pengaruh Variasi *Nozzle Temperature* dan *Print Speed* Terhadap Densitas Pada Produk 3D *Printing* Filamen TPU 95A

Encep setiawan ^{a,1,*}, Dani Mardiyana ^{a,2}.

^a Program Studi Teknik Mesin, Universitas Nusa Putra, Sukabumi, Jawa Barat, 43152, Indonesia

¹ encep.setiawan_tm19@nusaputra.ac.id; ² dani.mardiyana@nusaputra.ac.id;

* Corresponding Author

ABSTRAK

Perkembangan teknologi manufaktur aditif, khususnya 3D *printing* dengan metode *Fused Deposition Modeling* (FDM), telah membuka peluang besar dalam pembuatan produk berbahan fleksibel seperti *Thermoplastic Polyurethane* (TPU). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi *nozzle temperature* dan *print speed* terhadap densitas produk cetakan 3D berbahan TPU-95A. Metode yang digunakan adalah eksperimental, dengan kombinasi enam variasi parameter proses, serta pengujian densitas berdasarkan prinsip Archimedes sesuai standar ASTM D792. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi *nozzle temperature* 230°C dan *print speed* 70 mm/s menghasilkan densitas tertinggi, yaitu 1,133 g/cm³, sedangkan kombinasi *nozzle temperature* 230°C dan *print speed* 90 mm/s menghasilkan densitas terendah, yaitu 1,083 g/cm³. Peningkatan *print speed* cenderung menurunkan densitas akibat berkurangnya waktu leleh dan penyatuan antar lapisan, sementara suhu *nozzle* yang terlalu tinggi dapat menyebabkan deformasi jika tidak diimbangi dengan kecepatan cetak yang sesuai. Temuan ini menunjukkan bahwa pengaturan parameter proses pencetakan yang tepat sangat penting untuk meningkatkan kepadatan dan kualitas struktur hasil cetakan berbahan fleksibel.

KATA KUNCI

3D *Printing*
Nozzle temperature
Print speed
Densitas
TPU-95A

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi manufaktur dalam beberapa dekade terakhir mengalami kemajuan yang sangat pesat, salah satunya ditandai dengan munculnya teknologi manufaktur aditif atau lebih dikenal dengan 3D *printing*. Teknologi ini memungkinkan proses pembuatan benda padat secara bertahap dari model digital melalui penyusunan lapisan demi lapisan material. Di antara berbagai jenis teknologi 3D *printing*, metode *Fused Deposition Modeling* (FDM) menjadi salah satu yang paling banyak digunakan karena relatif ekonomis, mudah dioperasikan, dan kompatibel dengan berbagai jenis material termoplastik [1], [2], [3].

Seiring meningkatnya kebutuhan akan produk-produk yang tidak hanya bersifat fungsional tetapi juga fleksibel, material seperti *Thermoplastic Polyurethane* (TPU) semakin populer. TPU adalah material elastomer termoplastik yang memiliki sifat gabungan antara plastik dan karet, yaitu fleksibilitas tinggi, ketahanan aus, serta kemampuan untuk kembali ke bentuk semula setelah mengalami deformasi. Salah satu jenis TPU yang banyak digunakan dalam industri 3D *printing* adalah TPU 95A, yang memiliki tingkat kekerasan medium dan sangat cocok digunakan untuk aplikasi seperti pelindung mekanik, engsel fleksibel, maupun komponen otomotif [4], [5].

Namun demikian, pencetakan dengan material TPU memiliki tantangan tersendiri, terutama dalam hal pengaturan parameter proses, seperti *nozzle temperature* dan *print speed*. Parameter-parameter ini secara langsung memengaruhi kualitas ikatan antar lapisan, kestabilan dimensi, serta densitas produk akhir. Dalam sifat fisik material, densitas merupakan besaran yang menunjukkan massa per satuan volume. Pada produk hasil cetak 3D, densitas berperan penting sebagai indikator kualitas, karena berhubungan erat dengan jumlah rongga yang terbentuk selama proses pencetakan. Densitas yang rendah dapat mengindikasikan adanya rongga internal atau lemahnya penyatuan antar lapisan, yang pada akhirnya akan berdampak pada penurunan kekuatan tarik, keuletan, serta ketahanan aus dari produk tersebut. Sebaliknya, densitas yang tinggi menunjukkan struktur yang padat dan homogen, yang umumnya diikuti dengan peningkatan performa mekanik [4], [6], [7].

Berdasarkan latar belakang tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk mengkaji bagaimana variasi *nozzle temperature* dan *print speed* memengaruhi densitas produk hasil cetak 3D berbahan TPU 95A. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih dalam mengenai hubungan antara parameter proses pencetakan dan karakteristik fisik produk, serta menjadi referensi dalam menentukan konfigurasi optimal pada proses manufaktur aditif dengan material fleksibel.

2. Metode dan Material

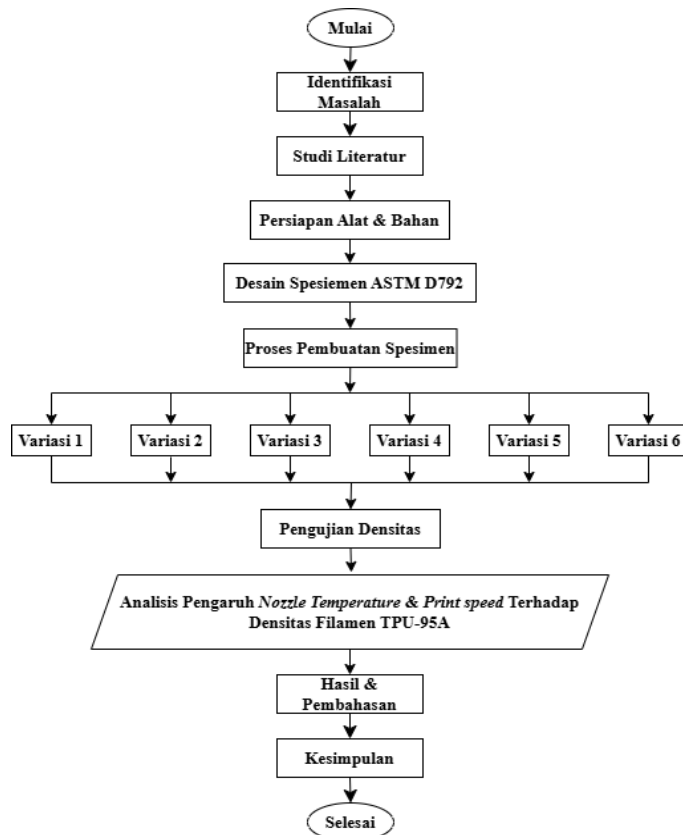
Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental, di mana variabel independen berupa *nozzle temperature* dan *print speed* dimodifikasi untuk melihat pengaruhnya terhadap variabel dependen, yaitu densitas. Dalam proses pencetakan 3D pada penelitian ini, digunakan beberapa parameter seperti *layer height*, *print speed*, *infill density*, *nozzle temperature*, *bed temperature*, dan *infill pattern*. Parameter-parameter tersebut diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu variabel tetap dan variabel yang divariasikan. Variabel tetap yang digunakan meliputi *layer height* sebesar 0,15 mm, *infill pattern* berjenis *concentric*, *infill density* sebesar 100%, serta *bed temperature* sebesar 60 °C. Parameter-parameter ini tidak mengalami perubahan selama proses pencetakan. Sementara itu, variabel yang divariasikan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Proses Parameter Cetak

<i>Print speed (mm/s)</i>	<i>Nozzle Temperature (°C)</i>	Nama spesimen
70	230	Variasi 1
70	240	Variasi 2
80	230	Variasi 3
80	240	Variasi 4
90	230	Variasi 5
90	240	Variasi 6

2.1. Diagram Alir Penelitian

Tahapan proses penelitian ini dapat dilihat pada gambar diagram alir penelitian di bawah ini.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.2. Material dan Alat

a. Material

Adapun material yang digunakan dalam penelitian ini adalah eFlex TPU-95A (*Thermoplastic Polyurethane*). TPU-95A merupakan bahan baku utama yang digunakan dalam proses pencetakan 3D. Adapun spesifikasi material tersebut dijelaskan sebagai berikut.

- Diameter : 1.75 mm (*Tolerance 0,2 mm*)
- *Printing temperature* : 220°C-250°C
- *Bed temperature* : 45°C – 60°C
- Densitas : 1.21 g/cm³



Gambar 1. Filamen TPU-95A

b. Alat

Adapun alat utama yang digunakan dalam proses pencetakan spesimen pada penelitian ini adalah mesin 3D printer *Ender 3 Pro*. Mesin ini dipilih karena mampu mencetak material fleksibel seperti TPU dengan tingkat presisi dan kestabilan yang baik. Berikut adalah tampilan dari mesin *Ender 3 Pro* yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 2. Mesin 3D printer

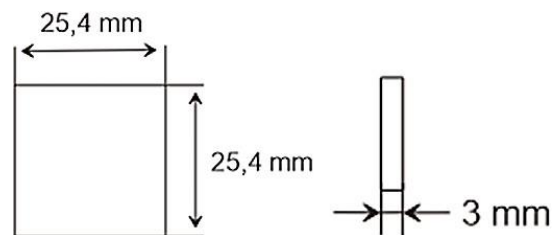
Untuk mendukung proses pencetakan objek uji, digunakan mesin 3D printer dengan spesifikasi tertentu yang sesuai dengan karakteristik material TPU-95A. Mesin ini berperan penting dalam menjaga konsistensi hasil cetak dan memastikan parameter pencetakan berjalan sesuai perencanaan. Spesifikasi lengkap dari mesin 3D printer yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Spesifikasi Mesin 3D printer

<i>Model</i>	<i>Ender-3 Pro</i>
<i>Build Size</i>	220*220*250mm
<i>Machine Size</i>	440*440*465mm
<i>Molding Technology</i>	FDM
<i>Rated Power</i>	270 W
<i>Rated Voltage</i>	AC115/230V
	50/60HZ
<i>Rated Current</i>	4A/2.1A
<i>Net Weight</i>	7.0KG

2.3. Proses Pembuatan Spesimen

Pembuatan dan pengujian densitas pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM D792, yang merupakan metode umum untuk menentukan densitas bahan plastik, termasuk elastomer seperti TPU (Thermoplastic Polyurethane). Spesimen uji yang digunakan mengikuti dimensi standar, yaitu panjang 25,4 mm, lebar 25,4 mm, dan ketebalan 3 mm.



Gambar 3. Dimensi Spesimen Uji Densitas

Dalam penelitian ini membuat 18 spesimen, yang terdiri dari 6 variasi parameter dengan masing-masing 3 kali replikasi. Proses pencetakan spesimen dilakukan melalui beberapa tahapan. Langkah awal dimulai dengan mengatur parameter pencetakan menggunakan perangkat lunak *Ultimaker Cura*, meliputi *print speed*, tinggi lapisan (*layer height*), pola isian (*infill pattern*), *infill density*, *bed temperature*, dan suhu nozzle (*nozzle temperature*). Setelah pengaturan selesai, file konfigurasi disimpan dalam format *g-code* agar dapat dibaca oleh mesin 3D printer. File tersebut kemudian dipindahkan ke dalam SD-Card sebagai media penyimpanan. Tahap berikutnya adalah menyalakan mesin dan melakukan pemanasan awal (*preheat*) untuk memastikan nozzle dalam kondisi bersih serta tidak mengalami penyumbatan dari sisa filamen sebelumnya. Filamen TPU kemudian dimasukkan ke dalam *extruder* hingga mencapai ujung *nozzle*. Setelah itu, file *g-code* yang telah tersimpan di SD-Card dipilih melalui antarmuka printer untuk memulai proses pencetakan. Mesin akan bekerja secara otomatis mengikuti instruksi yang terdapat dalam file *g-code*. Setelah pencetakan selesai, masing-masing spesimen diberi penanda atau nama sesuai dengan variasi parameter yang digunakan.



Gambar 4. Hasil 3D printing

2.4. Proses Pengujian Spesimen

Pengujian densitas bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisik dari material hasil pencetakan. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan mengacu pada prinsip Archimedes, yaitu dengan membandingkan massa spesimen saat berada di udara dan saat dicelupkan ke dalam fluida untuk menentukan nilai densitasnya. Prosedur ini didasarkan pada prinsip dasar hidrostatis, yang menyatakan bahwa suatu benda yang terendam sebagian atau seluruhnya dalam suatu fluida akan mengalami gaya ke atas (gaya apung) sebesar berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut [8]. Perhitungan densitas dalam metode ini menggunakan persamaan berikut.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_{udara}}{m_{udara} - m_{air}} \times \rho_{cairan}$$

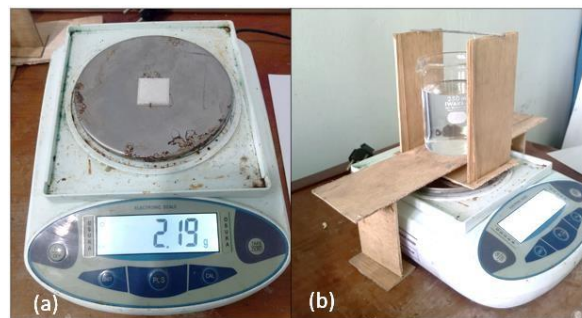
Di mana :

m_{udara} = Massa material di udara (g)

m_{air} = Massa material di air (g)

ρ_{cairan} = Densitas cairan (g/cm^3)

Langkah awal dalam pengujian ini dimulai dengan melakukan kalibrasi timbangan serta memastikan bahwa permukaan timbangan bersih dan bebas dari benda asing yang dapat memengaruhi akurasi pengukuran. Setelah itu, dilakukan persiapan bahan uji berupa spesimen dan cairan metanol, serta peralatan pendukung seperti papan atau triplek yang digunakan untuk mempermudah proses penimbangan spesimen di dalam cairan metanol. Proses pengujian ini seperti pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Proses penimbangan spesimen: (a). diudara, (b). dalam fluida

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Uji Densitas

Setelah melakukan penimbangan berat spesimen di udara dan berat spesimen di air, diperoleh data seperti dalam tabel 3, berikut ini.

Tabel 3. Hasil penimbangan spesimen

No Exp	Berat Spesimen (g)							
	Di udara				Di fluida			
	Replika si 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Average	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Average
Variasi 1	2,27	2,29	2,27	2,28	0,69	0,70	0,68	0,69
Variasi 2	2,11	2,12	2,10	2,11	0,62	0,62	0,61	0,62
Variasi 3	2,08	2,09	2,08	2,08	0,57	0,59	0,58	0,58
Variasi 4	219	2,20	2,20	2,20	0,64	0,65	0,64	0,64
Variasi 5	2,09	2,09	2,10	2,09	0,56	0,57	0,57	0,57
Variasi 6	2,10	2,09	2,09	2,09	0,59	0,60	0,60	0,60

Perhitungan densitas spesimen dilakukan dengan memanfaatkan data hasil penimbangan berat spesimen di udara dan dalam metanol, berdasarkan prinsip Archimedes. Sebagai ilustrasi, digunakan hasil penimbangan dari spesimen pada variasi 1.

$$\rho = \frac{m_{udara}}{m_{udara} - m_{air}} \times \rho_{cairan}$$

$$\rho = \frac{2,27}{2,27 - 0,69} \times 0,790$$

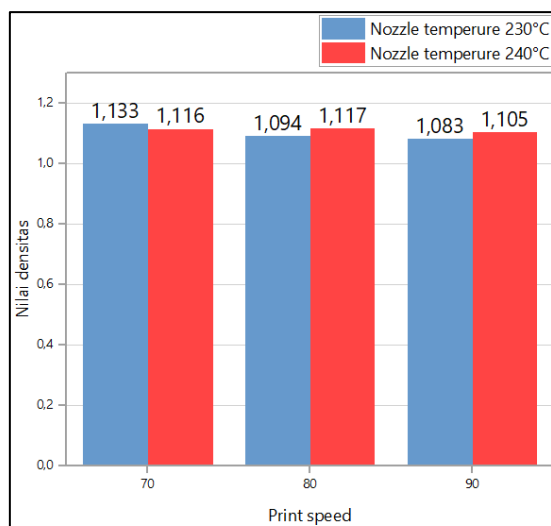
$$\rho = 1,135 \text{ g/cm}^3$$

Setelah melakukan perhitungan yang sama pada semua spesimen, maka diperoleh hasil uji densitas seperti pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Hasil Uji Densitas

No Exp	Nozzle Temperature (°C)	Print Speed (mm/s)	Densitas (g/cm ³)			Rata-rata Densitas (g/cm ³)
			Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	
230	230	70	1,135	1,137	1,127	1,133
240	240	70	1,118	1,116	1,113	1,116
230	230	80	1,088	1,100	1,095	1,094
240	240	80	1,116	1,121	1,114	1,117
230	230	90	1,079	1,086	1,084	1,083
240	240	90	1,098	1,108	1,108	1,105

Grafik di bawah ini menunjukkan rata-rata nilai densitas dari setiap variasi parameter pencetakan. Nilai rata-rata dihitung dari tiga spesimen pada masing-masing variasi, yang diukur menggunakan metode berdasarkan prinsip Archimedes. Grafik ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai pengaruh kombinasi *nozzle temperature* dan *print speed* terhadap densitas material TPU hasil cetakan.



Gambar 6. Grafik rata-rata densitas

Pada grafik di atas menunjukkan rata-rata nilai densitas, di mana pada sumbu Y merupakan tingkat nilai densitas. Sementara, data pada sumbu x merupakan *print speed* 70mm/s, 80mm/s, dan 90mm/s.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada *print speed* 70 mm/s dengan *nozzle temperature* 230°C (variasi 1), diperoleh nilai rata-rata densitas sebesar 1,133 g/cm³. Namun, ketika *print speed* ditingkatkan menjadi 80 mm/s dengan *nozzle temperature* yang sama (variasi 3), terjadi penurunan densitas yang cukup signifikan, yakni menjadi 1,094 g/cm³. Penurunan serupa juga terlihat pada *print speed* 90 mm/s (variasi 4), dengan rata-rata densitas menurun lagi menjadi 1,083 g/cm³. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa kombinasi terbaik pada *nozzle temperature* 230°C untuk menghasilkan densitas tertinggi terdapat pada *print speed* 70 mm/s.

Sementara itu, pada *nozzle temperature* 240°C dan *print speed* 70 mm/s (variasi 2), diperoleh rata-rata densitas sebesar 1,116 g/cm³. Ketika *print speed* ditingkatkan menjadi 80 mm/s (variasi 5), terjadi sedikit peningkatan densitas menjadi 1,117 g/cm³, meskipun peningkatannya tidak terlalu besar. Namun, pada *print speed* 90 mm/s (variasi 6), densitas kembali menurun menjadi 1,105 g/cm³. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa pada *nozzle temperature* 240°C, *print speed* 80 mm/s memberikan hasil densitas terbaik dalam konteks penelitian ini.

3.2. Pembahasan

Hasil uji densitas menunjukkan bahwa parameter *print speed* dan *nozzle temperature* memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai densitas produk hasil cetak menggunakan filamen TPU-95A. Kombinasi parameter yang menghasilkan densitas tertinggi adalah pada *print speed* 70 mm/s dan *nozzle temperature* 230°C, dengan nilai densitas rata-rata sebesar 1,133 g/cm³. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu 230°C, filamen TPU berada dalam kondisi cukup optimal untuk mencair dan berikatan dengan lapisan sebelumnya, serta pada kecepatan rendah, proses deposisi filamen berjalan dengan stabil. Waktu leleh yang cukup memungkinkan pembentukan ikatan antar lapisan yang kuat, meminimalkan terbentuknya rongga mikro, sehingga menghasilkan struktur yang lebih padat. Hasil ini sejalan dengan temuan oleh Hastuti Delima et al. (2025), yang menyatakan bahwa kecepatan cetak rendah memberikan waktu cukup bagi filamen untuk menyatu, sehingga meningkatkan densitas dan homogenitas struktur cetak [9].

Ketika *print speed* dinaikkan menjadi 80 mm/s pada *nozzle temperature* yang sama (230°C), nilai densitas menurun menjadi 1,094 g/cm³. Penurunan ini diduga terjadi karena waktu tempel antar lapisan berkurang, sehingga filamen tidak memiliki cukup waktu untuk berikatan sempurna. Akibatnya, terjadi peningkatan jumlah void atau pori-pori internal. Penurunan ini semakin terlihat pada *print speed* 90 mm/s, di mana densitas menurun menjadi 1,083 g/cm³. Kecepatan yang terlalu tinggi menyebabkan perpindahan panas tidak optimal, serta filamen cenderung tidak mengikuti kontur lapisan sebelumnya secara sempurna. Fenomena ini sesuai dengan studi yang dilakukan oleh Yao et al. (2019), yang menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan pencetakan berdampak negatif terhadap densitas karena berkurangnya energi termal yang ditransfer ke lapisan bawah, mengakibatkan lemahnya kohesi antar lapisan [10].

Pada *nozzle temperature* 240°C dan *print speed* 70 mm/s, diperoleh densitas sebesar 1,116 g/cm³, lebih rendah dibandingkan pada suhu 230°C dengan kecepatan yang sama. Hal ini dapat dijelaskan oleh kemungkinan terjadinya *overmelting*, di mana material terlalu cair dan mengalami aliran berlebih sebelum sempat membeku dan menyatu secara efektif. Ketika aliran tidak terkendali, potensi pembentukan rongga atau ketidakteraturan lapisan menjadi lebih tinggi. TPU sebagai material elastomer memiliki sensitivitas terhadap suhu tinggi, yang jika tidak dikendalikan dapat menyebabkan penurunan kualitas struktur internal.

Peningkatan *print speed* menjadi 80 mm/s pada *nozzle temperature* 240°C menghasilkan densitas tertinggi dalam kelompok suhu ini, yakni 1,117 g/cm³. Kombinasi antara suhu tinggi dan kecepatan sedang memungkinkan filamen mencair dengan baik dan langsung menyatu sebelum aliran menjadi terlalu menyebar. Dalam kondisi ini, keseimbangan antara viskositas material dan waktu deposisi mendukung pembentukan lapisan yang padat. Hal ini didukung oleh penelitian oleh Torrado et al. (2015), yang menyebutkan bahwa suhu tinggi dapat meningkatkan ikatan antar lapisan jika dikombinasikan dengan kecepatan sedang, karena viskositas menurun dan difusi antar rantai polimer meningkat, namun tanpa menyebabkan deformasi berlebih [11].

Namun, saat *print speed* dinaikkan ke 90 mm/s dengan *nozzle temperature* tetap 240°C, densitas kembali menurun menjadi 1,105 g/cm³. Kecepatan tinggi pada suhu tinggi menyebabkan filamen terlalu cepat ditempatkan, dan pendinginan berlangsung sebelum penyatuan antar lapisan terjadi secara optimal. Aliran filamen yang cepat dan encer pada kondisi ini menyebabkan kualitas ikatan lapisan menurun, menghasilkan porositas internal yang lebih tinggi. Hasil ini konsisten dengan studi oleh Tekinalp et al. (2014), yang menunjukkan bahwa kecepatan tinggi dapat meningkatkan cacat internal meskipun suhu pencetakan sudah ditingkatkan [12].

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa tidak ada satu parameter tunggal yang menentukan densitas terbaik, melainkan dibutuhkan kombinasi antara *nozzle temperature* dan *print speed* yang tepat. Kombinasi *nozzle temperature* 230°C dan *print speed* 70 mm/s terbukti menghasilkan struktur paling padat, sementara pada suhu 240°C, kombinasi terbaik ditemukan pada *print speed* 80 mm/s. Temuan ini memperkuat pemahaman bahwa keseimbangan antara energi panas dan waktu deposisi sangat penting untuk memperoleh kualitas cetak yang optimal, khususnya dalam pencetakan menggunakan material fleksibel seperti TPU-95A.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi *nozzle temperature* dan *print speed* memiliki pengaruh nyata terhadap densitas hasil cetakan 3D berbahan TPU-95A. Kombinasi parameter yang paling optimal untuk menghasilkan densitas tertinggi adalah pada *nozzle temperature* 230°C dan *print speed* 70 mm/s, dengan rata-rata densitas sebesar 1,133 g/cm³. Peningkatan *print speed* pada suhu *nozzle* yang sama menyebabkan penurunan densitas secara bertahap akibat kurangnya waktu untuk fusi antar lapisan. Sebaliknya, pada *nozzle temperature* 240°C, *print speed* 80 mm/s memberikan hasil densitas tertinggi dalam kelompok tersebut, menunjukkan bahwa suhu tinggi dapat meningkatkan penyatuan lapisan jika dikombinasikan dengan kecepatan cetak yang moderat. Hasil ini mengindikasikan bahwa keseimbangan antara suhu dan kecepatan cetak sangat penting untuk mencapai kepadatan optimal pada produk 3D *printing* berbahan fleksibel. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam menentukan parameter pencetakan yang sesuai untuk material sejenis dalam aplikasi manufaktur aditif.

Daftar Pustaka

- [1] V. Marco, G. Massimo, and G. Manuela, "Additive manufacturing of flexible thermoplastic polyurethane (TPU): enhancing the material elongation through process optimisation," *Progress in Additive Manufacturing*, 2024, doi: 10.1007/s40964-024-00790-y.
- [2] J. H. Panjaitan, M. Tampubolon, F. Sihombing, and J. Simanjuntak, "Pengaruh Kecepatan, Temperatur dan Infill Terhadap Kualitas dan Kekasaran Kotak Relay Lampu Sign Sepedamotor Hasil dari 3D Printing," vol. 2, no. 2, 2021.
- [3] B. Arifvianto *et al.*, "Tensile properties of the FFF-processed thermoplastic polyurethane (TPU) elastomer," Mar. 10, 2021. doi: 10.21203/rs.3.rs-299979/v1.
- [4] J. Xiao and Y. Gao, "The manufacture of 3D printing of medical grade TPU," *Progress in Additive Manufacturing*, vol. 2, no. 3, pp. 117–123, Sep. 2017, doi: 10.1007/s40964-017-0023-1.
- [5] A. Sukarno Putri, B. Wiwo Karuniawan, F. Rachman, P. Studi Teknik Desain dan Manufaktur, J. Teknik Permesinan Kapal, and P. Perkapalan Negeri Surabaya, "Proceeding 6 th Conference on Design and Manufacture Engineering and its Application Analisis Pengaruh Variasi Parameter 3D Printing terhadap Kekuatan Tarik, Kekuatan Impak, dan Building Time menggunakan Metode Taguchi-Grey Relational Analysis."
- [6] J. Pratama and A. Z. Adib, "Pengaruh Parameter Cetak Pada Nilai Kekerasan Serta Akurasi Dimensi Material Thermoplastic Elastomer (TPE) Hasil 3D Printing," *Jurnal Ilmiah GIGA*, vol. 25, no. 1, doi: 10.47313/jig.v%vi%i.1712.
- [7] T. Akurasi Dimensi Filamen Petg Menggunakan Metode Taguchi Rosalina, M. Subhan, and P. Manufaktur Negeri Bangka Belitung, "Pengaruh Parameter Proses Pada Pencetakan 3D Printing," vol. 02, no. 1, p. 79, 2024.
- [8] Mohammad Istajarul Alim, "Densitas dan Porositas Batuan," no. DOI: 10.13140/RG.2.2.21184.89607, Jan. 2020.
- [9] H. Delima, Y. Mardiyati, H. Andami, S. Steven, and S. Rizkiawan, "Optimasi Parameter Pencetakan dan Evaluasi Sifat Mekanis Filamen Poliuretan Termoplastik dalam Pencetakan 3D," *Mesin*, vol. 30, no. 2, pp. 96–107, Feb. 2025, doi: 10.5614/MESIN.2025.30.2.2.

-
- [10] T. Gulo, D. Mardiyana, and D. I. Sumarno, “Analysis of Print Speed Variations Effect and Nozzle Temperature on the Tensile Strength of 3D Printed TPU-95A Products,” *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, pp. 53–60, Jan. 2025, doi: 10.21009/JKEM.10.1.6.
- [11] R. Redy, H. Hasdiansah, and Z. Sirwansyah Suzen, “Optimasi Parameter Produk 3D Printing Terhadap Kuat Tarik Menggunakan Filamen TPU (Thermoplastic Polyurethane),” *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 1, no. 2, pp. 312–317, Aug. 2023, doi: 10.33504/jitt.v1i2.19.
- [12] A. R. Fachrudin and F. A. F. Astuti, “Pengaruh Layer Height Dan Printing Speed Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Hasil Additive Manufacturing,” *Majamecha*, vol. 6, no. 1, pp. 46–57, Jun. 2024, doi: 10.36815/majamecha.v6i1.2971.