

# Pengaruh Variasi *Print Speed* & *Nozzle Temperature* Terhadap Uji Densitas Pada Spesimen Produk 3D *Printing Berfilament TPU 95A*

Mujib Faturohman<sup>a,1\*</sup>, Dani Mardiyana<sup>b,2</sup>.

<sup>a</sup> Teknik Mesin, Universitas Nusa Putra, Sukabumi, Indonesia

<sup>1</sup>[mujib.faturohman\\_tm21@nusaputra.ac.id](mailto:mujib.faturohman_tm21@nusaputra.ac.id), <sup>2</sup>[dani.mardiyana@nusaputra.ac.id](mailto:dani.mardiyana@nusaputra.ac.id)

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi *print speed* dan *nozzle temperature* terhadap densitas hasil cetak 3D menggunakan filamen TPU 95A. TPU 95A merupakan material elastomer termoplastik yang memiliki fleksibilitas tinggi dan cocok digunakan dalam proses FDM. Parameter proses seperti *print speed* dan *nozzle temperature* sangat memengaruhi kualitas hasil cetakan, khususnya dalam hal kerapatan material. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen, dengan enam kombinasi parameter: dua tingkat *nozzle temperature* (220°C dan 230°C) dan tiga tingkat *print speed* (70, 80, dan 90 mm/s). Pengujian densitas dilakukan menggunakan metode Archimedes. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi 220°C dan 70 mm/s menghasilkan densitas tertinggi sebesar 1,046 g/cm<sup>3</sup>, sedangkan kombinasi 230°C dan 90 mm/s menghasilkan densitas terendah sebesar 0,991 g/cm<sup>3</sup>. Peningkatan *print speed* dan *nozzle temperature* yang terlalu tinggi menyebabkan penurunan densitas karena lemahnya penyatuan antar lapisan.

## Kata kunci

3D printing  
Densitas  
Print speed  
Nozzle temperature  
TPU 95A

## 1. Pendahuluan

Dalam era Revolusi Industri 4.0, industri manufaktur mengalami perkembangan pesat dengan tujuan meningkatkan efisiensi, fleksibilitas, dan produktivitas. Salah satu teknologi yang mendukung transformasi ini adalah manufaktur aditif atau *3D printing*. Teknologi ini memungkinkan pembuatan produk dengan bentuk kompleks secara lebih cepat dan efisien dibandingkan metode konvensional, sekaligus mampu mempersingkat waktu produksi dan menurunkan biaya [1]. Dari berbagai metode pencetakan 3D yang ada, *Fused Deposition Modeling* (FDM) menjadi yang paling banyak digunakan karena keunggulannya dalam aspek kemudahan operasi, biaya rendah, dan pemakaian energi yang relatif efisien [2].

FDM bekerja dengan cara melelehkan material termoplastik melalui *nozzle* yang dipanaskan, kemudian menyusun material tersebut secara bertahap dan berlapis hingga membentuk objek tiga dimensi. Salah satu material yang umum digunakan dalam proses ini adalah TPU 95A, yang dikenal karena sifat mekaniknya yang unggul seperti fleksibilitas tinggi, ketahanan terhadap benturan, serta elastisitas yang baik [3]. Namun, kualitas hasil cetakan sangat dipengaruhi oleh parameter proses, khususnya *print speed* dan *nozzle temperature*. *Print speed* merupakan kecepatan pergerakan *nozzle* saat mengekstrusi material, sedangkan *nozzle temperature* mengacu pada suhu *nozzle* saat memanaskan dan mencairkan filamen [4].

Sejauh ini, sebagian besar penelitian berfokus pada pengaruh parameter proses terhadap sifat mekanik seperti kekuatan tarik atau kekerasan. Namun, aspek densitas juga penting untuk diperhatikan karena berperan dalam menentukan kerapatan internal material hasil cetakan. Densitas yang tinggi menunjukkan bahwa antar lapisan material menyatu dengan baik tanpa celah atau rongga, sedangkan densitas yang rendah menandakan adanya ketidaksempurnaan dalam proses pencetakan, yang dapat berpengaruh terhadap kekuatan dan daya tahan produk [5].

*Print speed* yang terlalu tinggi dapat menyebabkan waktu penyatuan antar lapisan menjadi sangat singkat, sehingga tidak terjadi fusi yang baik dan berisiko menimbulkan rongga. Di sisi lain, *nozzle temperature* yang terlalu rendah akan menghambat pencairan material, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi termal pada filamen. Kedua parameter ini saling berkaitan dan memiliki pengaruh langsung terhadap kualitas struktur internal cetakan, termasuk densitasnya [6], [7]. Oleh karena itu, pemahaman mengenai pengaruh keduanya sangat penting untuk menghasilkan cetakan 3D dengan struktur padat dan berkualitas.

12 Juli 2025

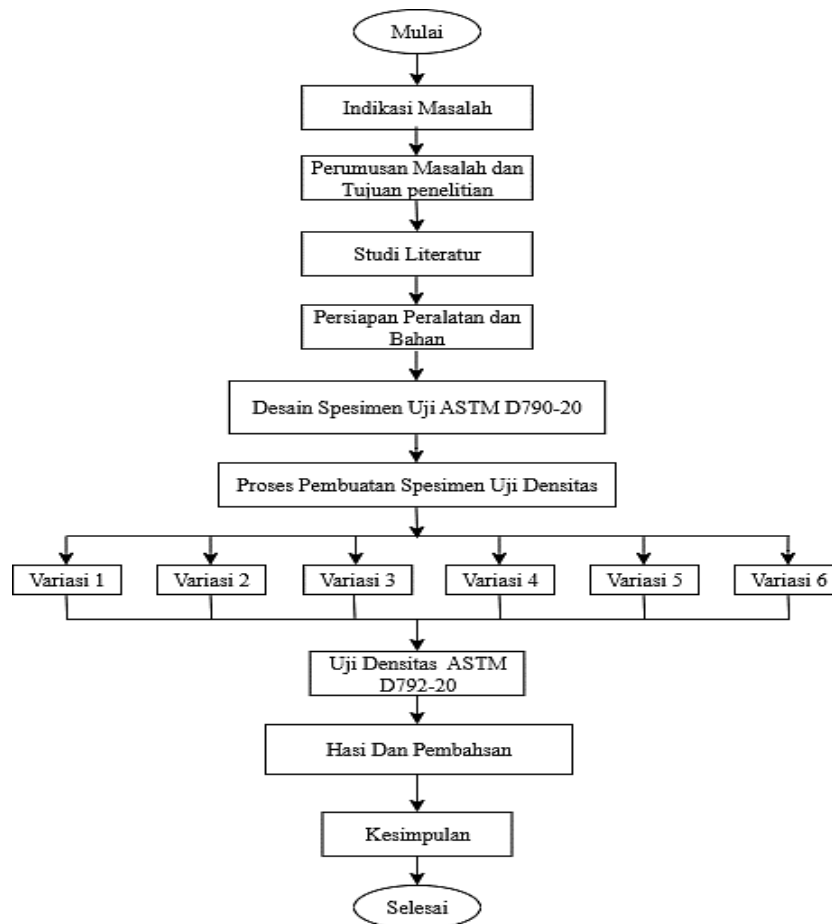
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi *print speed* dan *nozzle temperature* terhadap densitas hasil cetak *3D printing* menggunakan material TPU 95A. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi industri maupun akademisi dalam menentukan parameter pencetakan yang sesuai untuk memperoleh hasil cetak yang memiliki kerapatan tinggi dan kekuatan struktur yang baik

## 2. Metode dan bahan

Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimen, yaitu suatu pendekatan yang melibatkan pengamatan dan perubahan beberapa faktor dalam kondisi yang terkontrol untuk memperoleh data. Tujuan dari metode ini adalah untuk memahami hubungan antara variabel yang dimanipulasi (variabel independen) dan variabel yang diukur (variabel dependen).

Pada penelitian ini, parameter penelitian dibedakan menjadi dua, yaitu parameter tetap dan parameter yang divariasikan. Parameter tetap adalah yang dibiarkan tetap yang dimana untuk variable tetap yaitu: *layer height* 0.2 mm, *Infill density* 100%, *bed temperature* 60°C, dan *infill fatterns* berjenis *concentric*. Ini adalah faktor-faktor yang di atur dan tidak di ubah selama percobaan.

Adapun parameter yang divariasikan merupakan faktor yang nilainya diubah untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil akhir. Dalam penelitian ini, *print speed* dan *nozzle temperature* merupakan parameter yang divariasikan, dengan tujuan untuk melihat bagaimana perubahan kedua parameter tersebut memengaruhi densitas dari produk *3D printing* yang menggunakan filamen TPU95A. untuk mempermudah proses pada penelitian ini dibuat diagram alir seperti pada gambar 1



Gambar 1 diagram alir

12 Juli 2025

## 2.1. Material

Penelitian ini menggunakan filamen TPU 95A berdiameter 1,75 mm dan berwarna putih bening dari Shenzhen Esun Industrial Co., Ltd., China (eSun Filament) untuk membuat spesimen densitas. Spesifikasi material TPU 95A yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi filament TPU 95A Esun

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

## 2.2. Proses pembuatan spesimen uji densitas

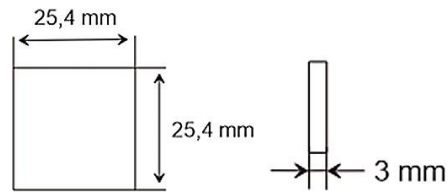
Pada penelitian ini, spesimen uji densitas dicetak menggunakan printer *Ender-3 Pro*. Desain spesimen dibuat dengan *Autodesk Inventor* mengikuti standar ASTM D792-20 untuk material polimer dan campuran. Setelah desain selesai, file disimpan dalam format STL dan diimpor ke *Ultimaker Cura* untuk pengaturan parameter cetak. File kemudian dikonversi ke format *G-code* dan dimasukkan ke SD Card untuk proses pencetakan. Parameter pencetakan dibagi menjadi dua jenis parameter tetap yang tidak di ubah selama pencetakan di mana yaitu *Layer height 0,2 mm*, *Infill density 100%*, *Bed temperature 60°C* dan *Infill pattern* berjenis *Concentric* untuk parameter yang divariasikan bisa dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 parameter variasi

<i>Nozzle Temperatur ( °C )</i>	<i>Print speed (mm/s)</i>	<b>Nama spesimen</b>
220	70	variasi 1
230	70	variasi 2
220	80	variasi 3
230	80	variasi 4
220	90	variasi 5
230	90	variasi 6

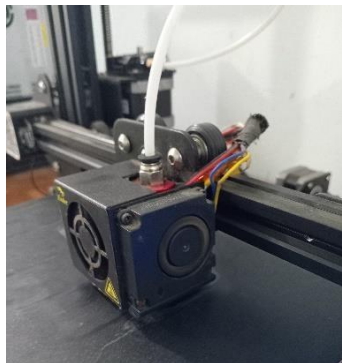
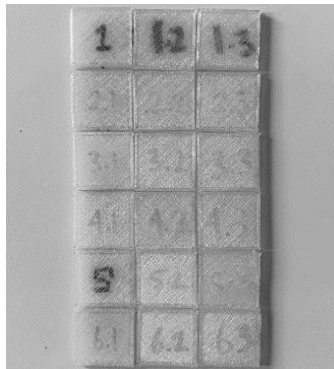
Total sebanyak 18 spesimen uji densitas yang dibuat menggunakan *3d printing* dengan mengikuti parameter variasi cetak. Spesimen uji densitas berbentuk persegi, mengikuti standar ASTM D792-20, untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 2.

12 Juli 2025



Gambar 2 dimensi spesimen uji densitas

Setelah desain spesimen uji densitas standar ASTM D792-20 telah dibuat seperti pada gambar 2 kemudian selanjutnya proses pembuatan menggunakan *3d printing* seperti pada gambar 3. Untuk hasil pembuatan spesimen menggunakan *3d printing* bisa di lihat pada gambar 4.

Gambar 3 proses pembuatan spesimen dengan *3d printing*

Gambar 4 hasil cetak spesimen

### 2.3. Proses pengujian spesimen densitas

Pengujian densitas pada hasil cetak *3D printing* bertujuan untuk mengetahui seberapa padat material yang dihasilkan setelah proses pencetakan. Untuk pengujian densitas pada penelitian ini menggunakan metode Archimedes, yaitu teknik pengukuran massa jenis berdasarkan prinsip perpindahan fluida. Metode ini dilakukan dengan menimbang spesimen di udara, kemudian menimbang kembali saat spesimen dicelupkan ke dalam cairan (metanol). Selisih antara kedua berat tersebut disebabkan oleh gaya apung, yaitu gaya ke atas yang ditimbulkan oleh cairan. Besarnya gaya apung ini setara dengan berat cairan yang dipindahkan oleh volume benda yang tercelup. Dengan data ini, massa jenis (densitas) spesimen dapat dihitung secara akurat. Metode ini cocok digunakan untuk hasil dari pencekan *3d printing* yang

memiliki rongga, proses pengujian densitas secara jelas bisa dilihat pada gambar 5. untuk persamaan menghitung uji densitas yaitu:

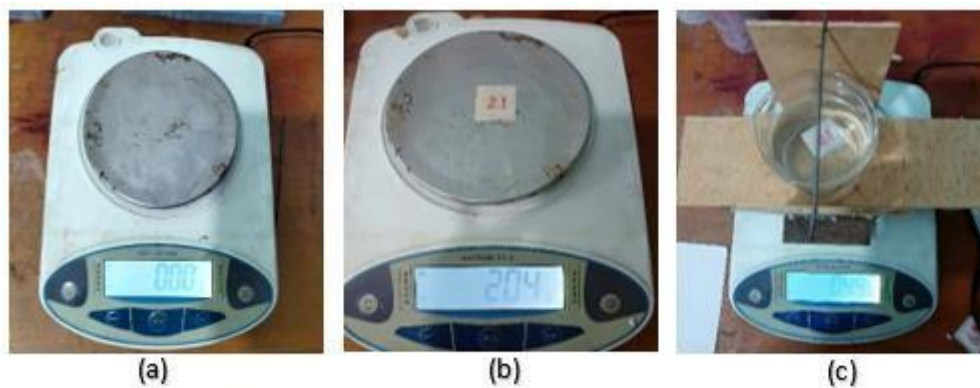
$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_{udara}}{m_{udara} - m_{air}} \times \rho_{cairan}$$

Di mana:

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

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

$\rho_{cairan}$  = Densitas cairan (g/cm<sup>3</sup>)



Gambar 5 (a) kalibrasi timbangan digital, (b) menimbang berat spesimen di udara dan (c) menimbang spesimen di dalam cairan (metanol)

Pengujian dilakukan pada suhu ruang 25°C, dengan menggunakan metanol sebagai pengganti air. Metanol dipilih karena memiliki densitas yang lebih rendah dari pada air, untuk metanol yakni 0,790 g/cm<sup>3</sup>, sedangkan air memiliki densitas 1 g/cm<sup>3</sup> pada suhu yang sama. Pemilihan ini penting karena bahan yang diuji adalah *Thermoplastic Polyurethane*, yang cenderung mengapung atau sulit tenggelam dalam air. Jika menggunakan air, hal ini bisa membuat hasil pengujian tidak akurat. Total ada 18 spesimen yang diuji, dibagi ke dalam 6 variasi parameter pencetakan. Setiap variasi memiliki 3 spesimen yang dicetak dengan parameter yang sama. Pengujian diulang untuk masing-masing spesimen agar hasilnya lebih akurat.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Hasil uji Densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh variasi *print speed* dan *nozzle temperature* terhadap tingkat kerapatan hasil cetakan. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM D792-20 dengan prinsip Archimedes, yaitu dengan menimbang spesimen di udara dan saat tercelup dalam fluida. Dari hasil penimbangan tersebut diperoleh data numerik untuk setiap spesimen, untuk hasil penimbangan setiap spesimen di udara dan di cairan secara jelas ditampilkan pada tabel .

Tabel 3. Hasil Penimbangan Spesimen

No Exp	Berat spesimen (g)							
	Di udara				Di air			
	Test 1	Test 2	Test 3	Average	Test 1	Test 2	Test 3	Average
Variasi 1	2,08	2,08	2,08	<b>2,08</b>	0,51	0,51	0,51	<b>0,51</b>
Variasi 2	2,04	2,04	2,04	<b>2,04</b>	0,49	0,49	0,49	<b>0,49</b>
Variasi 3	2,02	2,03	2,02	<b>2,02</b>	0,47	0,47	0,47	<b>0,47</b>
Variasi 4	1,98	1,99	1,99	<b>1,99</b>	0,44	0,44	0,44	<b>0,44</b>
Variasi 5	1,94	1,94	1,94	<b>1,94</b>	0,41	0,41	0,41	<b>0,41</b>
Variasi 6	1,91	1,92	1,92	<b>1,92</b>	0,39	0,39	0,39	<b>0,39</b>

Setelah diperoleh hasil penimbangan spesimen, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai densitas berdasarkan data berat spesimen di udara dan saat tercelup dalam metanol. Perhitungan ini dilakukan menggunakan prinsip Archimedes dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Densitas = \frac{m_k}{m_k - m_t} \times \rho_{cairan}$$

di mana:

$m_k$  = berat benda di udara (g)

$m_t$  = berat benda saat dicelupkan dalam cairan (g)

$\rho_{cairan}$  = massa jenis cairan ( $g/cm^3$ ).

Sebagai contoh untuk mencari nilai sebuah densitas yaitu sebagai berikut:

$$\rho = \frac{2,08}{2,08 - 0,51} \times 0,790$$

$$\rho = 1,046 \text{ g/cm}^3$$

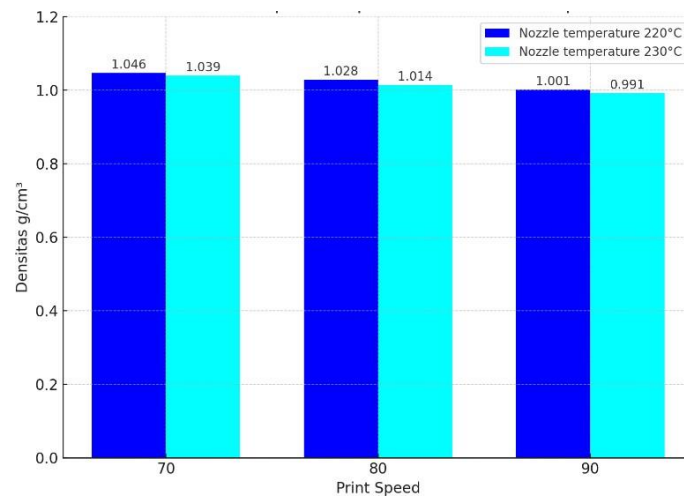
Setelah melakukan perhitungan dengan rumus di atas pada semua hasil penimbangan di setiap variasi parameter cetak, adapun hasil pengujian densitas yang diperoleh yang disajikan dalam tabel 4, di bawah ini.

Tabel 4. Hasil Uji Densitas

Parameter	Nozzle Temperatur <i>e</i> (°C)	Print speed (mm/s)	Replikasi			Rata-rata ( $g/cm^3$ )
			1	2	3	
			Variasi 1	220	70	
Variasi 2	230	70	1,039	1,039	1,039	<b>1,039</b>
Variasi 3	220	80	1,029	1,028	1,029	<b>1,028</b>
Variasi 4	230	80	1,015	1,014	1,014	<b>1,014</b>
Variasi 5	220	90	1,001	1,001	1,001	<b>1,001</b>
Variasi 6	230	90	0,992	0,991	0,991	<b>0,991</b>

12 Juli 2025

Untuk mempermudah dalam mengetahui pengaruh parameter cetak terhadap densitas spesimen yang diperoleh dari hasil 3D *printing* dengan material filamen TPU 9A, maka gambar 6 merupakan grafik rata-rata hasil uji densitas.



Gambar 6. Grafik Rata-rata Hasil Uji Densitas

Gambar 4. menyajikan grafik hasil uji densitas, di mana pada sumbu X merupakan 3 level *print speed* yaitu 70mm/s, 80mm/s, dan 90mm/s. sementara pada sumbu Y merupakan tingkat nilai densitas dalam satuan  $\text{g/cm}^3$ .

Pada grafik di atas memperlihatkan adanya pengaruh yang cukup signifikan dari variasi parameter *nozzle temperature* dan *print speed* terhadap nilai densitas spesimen hasil cetak. Berdasarkan hasil pengujian, kombinasi parameter dengan *nozzle temperature* sebesar  $220^\circ\text{C}$  dan *print speed* 70 mm/s (Variasi 1) menghasilkan nilai densitas tertinggi, yaitu sebesar  $1,046 \text{ g/cm}^3$ . Hal ini menunjukkan bahwa pada kombinasi tersebut, kualitas pencetakan dalam hal kerapatan material berada pada tingkat optimal. Sebaliknya, densitas terendah tercatat pada Variasi 6, yaitu dengan *nozzle temperature*  $230^\circ\text{C}$  dan *print speed* 90 mm/s, yang menghasilkan nilai densitas sebesar  $0,991 \text{ g/cm}^3$ .

Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa peningkatan kecepatan cetak (*print speed*) cenderung menyebabkan penurunan densitas, baik pada *nozzle temperatur*  $220^\circ\text{C}$  maupun  $230^\circ\text{C}$ . Fenomena ini terjadi karena semakin tinggi kecepatan pencetakan, maka waktu yang tersedia untuk melelehkan filamen dan menyatukan lapisan demi lapisan menjadi lebih singkat. Akibatnya, adhesi antar lapisan tidak sempurna, dan struktur material menjadi kurang padat. Oleh karena itu, pengaturan parameter dalam proses pencetakan perlu diperhatikan dengan baik agar dapat menghasilkan cetakan dengan struktur internal yang padat dan memiliki kekuatan yang maksimal.

### 3.2. Pembahasan

Densitas merupakan salah satu sifat fisik penting dalam material teknik yang menunjukkan tingkat kerapatan massa dalam suatu volume. Dalam proses pencetakan 3D menggunakan metode FDM (*Fused Deposition Modeling*), densitas sangat dipengaruhi oleh parameter cetak seperti *nozzle temperature* dan *print speed*. Semakin tinggi tingkat kerapatan suatu spesimen, umumnya semakin baik pula kualitas adhesi antar lapisan, yang berpengaruh langsung terhadap kekuatan mekanik dan struktur cetakan. Ketidaktepatan dalam pengaturan parameter dapat menyebabkan terbentuknya celah atau rongga antar lapisan, yang pada akhirnya menurunkan nilai densitas dan performa material secara keseluruhan.

Berdasarkan grafik hasil uji densitas, terlihat adanya pengaruh yang cukup signifikan dari variasi *nozzle temperature* dan *print speed* terhadap nilai densitas spesimen hasil cetak. Kombinasi *nozzle*

*temperature* 220°C dan *print speed* 70 mm/s menghasilkan densitas tertinggi sebesar 1,046 g/cm<sup>3</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa pada kombinasi tersebut, proses pencairan filamen dan penyatuan antar lapisan berlangsung dengan sangat baik, sehingga menghasilkan struktur internal yang lebih rapat dan homogen. Sebaliknya, nilai densitas terendah dicapai pada kombinasi *nozzle temperature* 230°C dan *print speed* 90 mm/s, yaitu sebesar 0,991 g/cm<sup>3</sup>. Hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan *nozzle temperature* dan *print speed* secara bersamaan dapat menurunkan kualitas hasil cetakan dari segi kerapatan.

Penurunan densitas tersebut dapat dijelaskan melalui prinsip pemrosesan termal pada material polimer. Ketika *print speed* meningkat, waktu yang tersedia untuk filamen menyatu dengan lapisan sebelumnya menjadi lebih singkat, sehingga mengurangi kualitas adhesi antar lapisan. Selain itu, *nozzle temperature* yang terlalu tinggi berisiko menyebabkan material TPU 95A mengalami pencairan berlebihan atau bahkan degradasi termal, yang turut memengaruhi kerapatan hasil cetakan. Berdasarkan hasil penelitian penurunan densitas yang terjadi seiring peningkatan *print speed* pada kedua variasi suhu menunjukkan bahwa durasi proses dan suhu harus dikontrol dengan baik untuk menjaga kualitas struktur spesimen.

Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa pemilihan parameter cetak yang tepat sangat penting dalam menghasilkan cetakan dengan struktur internal yang padat dan memiliki kekuatan mekanik yang baik. Kombinasi suhu dan kecepatan cetak yang sesuai akan menghasilkan hasil cetak dengan kualitas tinggi dalam hal kerapatan dan daya tahan material.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, dapat disimpulkan bahwa *print speed* dan *nozzle temperature* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap densitas spesimen hasil cetak 3D dengan material TPU 95A. Kombinasi parameter cetak dengan *print speed* 70 mm/s dan *nozzle temperature* 220°C menghasilkan nilai densitas tertinggi, yaitu sebesar 1,046 g/cm<sup>3</sup>, yang menunjukkan struktur internal cetakan paling rapat dan seragam. Sebaliknya, kombinasi dengan *print speed* 90 mm/s dan *nozzle temperature* 230°C menghasilkan nilai densitas terendah sebesar 0,991 g/cm<sup>3</sup>, mengindikasikan penurunan kualitas kerapatan antar lapisan material. Peningkatan *print speed* cenderung menurunkan nilai densitas pada kedua tingkat *nozzle temperature* yang diuji. Hal ini disebabkan oleh waktu yang lebih singkat bagi filamen untuk menyatu antar lapisan, yang menyebabkan adhesi menjadi kurang sempurna. Sementara itu, *nozzle temperature* yang terlalu tinggi juga berpotensi menurunkan kualitas cetakan akibat risiko overmelting atau degradasi material. Dengan demikian, pemilihan kombinasi parameter cetak yang tepat sangat penting untuk menghasilkan spesimen *3D printing* dengan struktur internal yang padat dan berkualitas tinggi. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi pengguna teknologi FDM dalam mengoptimalkan parameter proses pencetakan, khususnya untuk aplikasi yang membutuhkan kepadatan material tinggi seperti komponen fungsional dan produk teknis berbasis TPU 95A.

**REFERENSI**

- [1] D. Dimitrov, K. Schreve, and N. de Beer, “Advances in three dimensional printing – state of the art and future perspectives,” *Rapid Prototyping Journal*, vol. 12, no. 3, pp. 136–147, 2006.
- [2] A. Gebhardt and J. Kessler, *3D Printing: Understanding Additive Manufacturing*, Munich: Hanser Publishers, 2016
- [3] Dani Mardiyana, “Optimalisasi Sifat Mekanik Produk 3D Printing FDM Berfilamen TPU 95A untuk Car Bumper Guard menggunakan Metode Taguchi,” 2008.
- [4] M. Dizon, A. Espera, Q. Chen, and R. Advincula, “Mechanical characterization of 3D- printed polymers,” *Additive Manufacturing*, vol. 20, pp. 44–67, 2018.
- [5] K. Szykiedans, P. Credo, and D. Osiński, “Selected mechanical properties of PETG 3- D prints,” *Procedia Engineering*, vol. 177, pp. 455–461, 2017.
- [6] J. Torres, I. Cole, and C. Wicker, “Printing parameters affecting mechanical properties of printed parts in Fused Deposition Modeling,” *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 137, no. 3, pp. 031011-1–031011-7, 2015.
- [7] S. Ahn, M. Montero, D. Odell, S. Roundy, and P. Wright, “Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS,” *Rapid Prototyping Journal*, vol. 8, no. 4, pp. 248–257, 20023.