

Pengaruh Variasi *Print Speed* dan *Nozzle Temperature* Terhadap Kekerasan Produk 3D Printer Filamen TPU 95A

Triadesman Gulo ^{a,1,*}, Dani Mardiyana ^{b,2}, Zaid Sulaiman ^{c,3}

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

¹ triadesman.gulo_tm21@nusaputra.ac.id *; ²dani.mardiyana@nusaputra.ac.id; ³zaid.sulaiman@nusaputra.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh variasi kecepatan cetak (*print speed*) dan suhu *nozzle* terhadap kekerasan produk 3D *printing* menggunakan material *filament* TPU 95A. Metode eksperimental digunakan dengan mencetak spesimen 3D menggunakan kombinasi kecepatan cetak (70 mm/s, 80 mm/s, 90 mm/s) dan suhu *nozzle* (230°C, 240°C). Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan durometer Shore A sesuai standar ASTM D2240. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan *print speed* cenderung meningkatkan kekerasan spesimen, terutama pada suhu *nozzle* 230°C. Namun, pada suhu *nozzle* yang lebih tinggi, efek *print speed* terhadap kekerasan tidak konsisten. Kombinasi optimal ditemukan pada kecepatan cetak 90 mm/s dan suhu *nozzle* 230°C, menghasilkan kekerasan tertinggi. Penelitian ini memberikan wawasan penting tentang optimasi parameter 3D *printing* untuk material TPU 95A, yang dapat diaplikasikan dalam berbagai industri seperti otomotif dan kesehatan.

Kata kunci

3D *printing*
Filamen TPU 95A
Kekerasan
Print speed
Nozzle Temperature

1. Pendahuluan

Teknologi pencetakan 3D telah menjadi salah satu inovasi paling berpengaruh dalam beberapa dekade terakhir, dengan aplikasi yang meluas di berbagai industri seperti otomotif, kesehatan, manufaktur, hingga pendidikan. Salah satu teknik pencetakan 3D yang paling populer adalah *Fused Deposition Modelling* (FDM), yang memungkinkan penciptaan objek tiga dimensi dengan cara meleburkan dan menyusun lapisan material secara bertahap. FDM menggunakan berbagai jenis filamen sebagai bahan dasar cetak, dan salah satu material yang menarik perhatian dalam beberapa tahun terakhir adalah *thermoplastic polyurethane* (TPU) [1],[2],[3]. TPU adalah sejenis elastomer termoplastik yang dikenal dengan fleksibilitasnya serta ketahanannya terhadap abrasi dan bahan kimia. TPU 95A khususnya, merupakan salah satu material yang sering digunakan dalam pencetakan 3D karena sifatnya yang lentur namun tetap memiliki kekuatan yang memadai. Produk-produk yang dibuat menggunakan TPU 95A umumnya diaplikasikan dalam pembuatan prototipe suku cadang, produk medis, dan berbagai komponen fleksibel lainnya. Namun demikian, meskipun TPU memiliki banyak keunggulan, kualitas produk yang dihasilkan dari pencetakan 3D menggunakan TPU 95A sangat bergantung pada parameter-parameter proses pencetakan, seperti kecepatan cetak (*print speed*) dan suhu *nozzle* [4].

Salah satu tantangan utama dalam pencetakan 3D adalah mencapai kualitas cetak yang optimal melalui pengaturan parameter yang tepat. Dalam proses pencetakan 3D, *print speed* dan *nozzle temperature* memiliki peran penting dalam menentukan hasil akhir produk. Kecepatan cetak yang terlalu tinggi atau suhu *nozzle* yang terlalu rendah bisa menyebabkan hasil cetakan menjadi tidak presisi, dengan struktur yang rapuh atau bahkan deformasi. Sebaliknya, pengaturan yang terlalu konservatif dapat memperlambat proses pencetakan dan mengurangi efisiensi produksi [5],[6],[7]. Sementara banyak penelitian sebelumnya telah berfokus pada pengaruh berbagai parameter seperti *layer height*, *infill density*, dan *infill pattern* terhadap kualitas cetakan, penelitian yang secara khusus mengkaji dampak kombinasi variasi *print speed* dan *nozzle temperature* terhadap kekerasan material TPU 95A masih sangat terbatas. Kekerasan adalah salah satu parameter mekanik penting yang sering diuji untuk menentukan kualitas material cetak, terutama untuk aplikasi-aplikasi yang membutuhkan daya tahan dan kekuatan tertentu.

Berdasarkan latar belakang di atas Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh kecepatan cetak dan suhu *nozzle* terhadap kekerasan pada pencetakan 3D material filamen TPU 95A. Penelitian ini penting tidak hanya untuk meningkatkan pemahaman tentang perilaku material TPU 95A dalam proses pencetakan, tetapi juga untuk memberikan panduan praktis bagi para pengguna teknologi 3D *printing* dalam mengoptimalkan parameter cetak mereka demi mencapai hasil yang diinginkan.

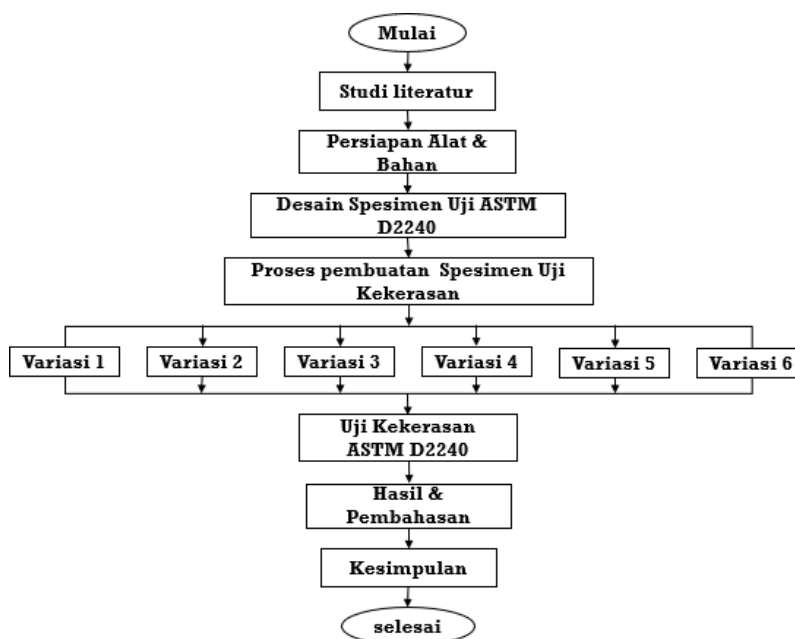
Namun, meskipun penelitian ini berfokus pada dua parameter utama yaitu kecepatan cetak dan suhu *nozzle*, masih ada banyak variabel lain yang dapat mempengaruhi kualitas hasil cetak 3D. Parameter-parameter seperti *layer height*, *infill density*, *infill pattern*, dan *bed temperature* cetak juga berperan

penting dalam menentukan hasil akhir. Dengan demikian, penelitian lanjutan yang mencakup parameter-parameter tambahan ini akan sangat berguna untuk memberikan panduan yang lebih komprehensif dalam penggunaan teknologi 3D *printing* dengan material TPU 95A.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, di mana variabel independen (kecepatan cetak dan temperatur nozzle) dimanipulasi untuk mengamati efeknya pada variabel dependen (kekerasan).

Adapun Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 diagram alir, dibawah ini.



Gambar 1 diagram alir

2.1. Material

Dalam penelitian ini, material filamen TPU 95A digunakan sebagai bahan mentah pada 3D *printing* yang berwarna putih transparan bermerek eSun Filament yang merupakan bahan dasar untuk pembuatan spesimen uji kekerasan. Adapun Spesifikasi dari material TPU 95A yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi filamen 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. Desain dan Proses pembuatan spesimen uji kekerasan

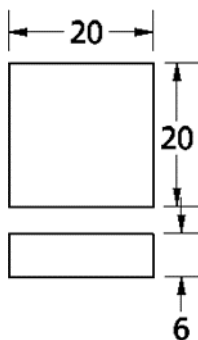
Dalam penelitian ini, 6 spesimen uji kekerasan dibuat menggunakan mesin cetak 3D printer *Ender-3 Pro*, sesuai desain standar ASTM D2240. Tahapannya meliputi: desain 3D spesimen menggunakan *software autodesk inventor 2024*, kemudian pengaturan parameter cetak pada *software Ultimaker Cura* (*layer height, print speed, infill density, temperature nozzle, bed temperature, dan infill patterns*), konversi ke format *g-code, transfer file g-code ke SD-Card, preheat* mesin untuk persiapan, pemasukan filamen ke *extruder*, pemilihan file cetak, proses pencetakan otomatis, dan pemberian nama pada setiap spesimen yang dicetak. Pada penelitian ini terbagi 2 parameter yaitu, parameter tetap dan parameter variasi. Adapun parameter tetapnya yaitu: *layer height 0,15 mm, infill patterns berjenis concentric, infill*

density 100%, dan bed temperature 60 °C, ini merupakan parameter yang tidak berubah selama proses pencetakan. Sedangkan variable variasi dapat dilihat pada tabel 2.

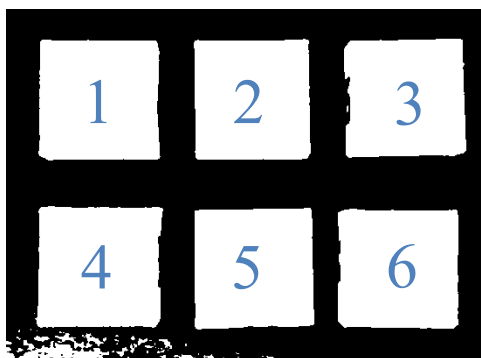
Tabel 2. Parameter variasi

Print speed (mm/s)	Temperatur nozzle (°C)	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

Desain spesimen uji kekerasan dibuat sesuai dengan standar ASTM D2240, dengan ukuran minimal 20 x 20 mm atau lebih besar, dan ketebalan minimal 6 mm atau [8]. Untuk bentuk desain spesimen uji kekerasan dapat dilihat pada gambar 2, sementara gambar 3 merupakan hasil cetak.



Gambar 2. Dimensi spesimen uji kekerasan ASTM D2240



Gambar 3. Spesimen hasil cetak

2.3. Proses pengujian spesimen

Pengujian kekerasan menggunakan alat Durometer digital shore A, seperti pada gambar 4 (a), dan spesifikasinya seperti pada tabel 3. Pengujian dilakukan sesuai standar ASTM D2240 dengan langkah-langkah berikut: memastikan spesimen bersih, menyiapkan dan mengkalibrasi Shore A Hardness Tester, kemudian letakan indentor pada titik pengujian pada spesimen, menekan durometer secara tegak lurus pada spesimen dengan tekanan konstan selama 1-5 detik, proses pengujian dilakukan pada lima titik yang berbeda dengan jarak minimal 6 mm seperti pada gambar 5, kemudian mencatat hasil untuk setiap titik dan pada setiap variasi parameter.

Tabel 3. Spesifikasi durometer shore A

Jangkauan	: 0-100HA
Resolusi	: 0,5HA
Akurasi	: tidak lebih dari $\pm 1\%$
Daya	: 1,5 sel
Suhu kerja	: 0-40 °C
Titik kerucut datar	: diameter 0,79mm
Sudut kerucut atas jarum tekanan	: 35°
Total gaya ukur	: 8,1N

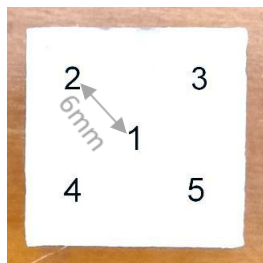


(a)



(b)

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



Gambar 5. Titik pengujian pada spesimen

3. Hasil dan Pembahasan

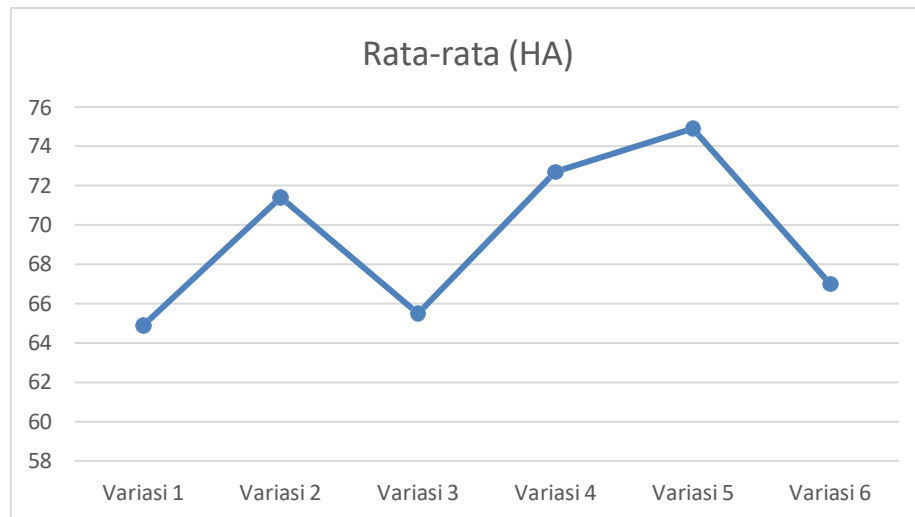
3.1. Hasil uji kekerasan

Setelah melakukan pengujian kekerasan terhadap spesimen produk 3D *printing* material *filament* TPU 95A dengan variasi *print speed* dan *nozzle temperature*, didapatkan data hasil pengujian kekerasan, seperti pada tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4. Hasil Uji Kekerasan

Spesimen	Nozzle Temperature (°C)	Print speed (mm/s)	Nilai Kekerasan Shore A					Rata-rata kekerasan (HA)
			Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	
Variasi 1	230	70	65,5	64,5	62,5	64,5	67,5	64,9
Variasi 2	240	70	72	70	68	73	74	71,4
Variasi 3	230	80	65	67	64,5	69	62,5	65,5
Variasi 4	240	80	73	74	73	71	72,5	72,7
Variasi 5	230	90	74	76	73,5	77	74	74,9
Variasi 6	240	90	66,5	68	67	65	68,5	67

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada tabel 4 diatas, bahwasanya *print speed* dan *nozzle temperature* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kualitas produk 3D *printing*, terutama pada kekerasan. Hal ini menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda-beda berdasarkan variasi parameter yang digunakan pada proses pencetakan spesimen produk, seperti pada gambar grafik rata-rata kekerasan (gambar 6).



Gambar 6. Grafik rata-rata kekerasan

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan dimana pengaruh parameter cetak pada material filamen TPU 95A memiliki pengaruh yang signifikan yaitu:

1. Pengaruh Kecepatan Cetak:
 - o Pada suhu *nozzle* 230°C, peningkatan kecepatan cetak dari 70 mm/s ke 90 mm/s menyebabkan peningkatan kekerasan dari 64.9 ke 74.9 Shore A.
 - o Namun, pada suhu *nozzle* 240°C, peningkatan kecepatan cetak menghasilkan kekerasan yang tidak konsisten, dengan kekerasan tertinggi pada 80 mm/s (72.7 Shore A).
2. Pengaruh Suhu *Nozzle*:
 - o Pada kecepatan cetak 70 mm/s dan 80 mm/s, peningkatan suhu *nozzle* dari 230°C ke 240°C menyebabkan peningkatan kekerasan.
 - o Sebaliknya, pada kecepatan cetak 90 mm/s, peningkatan suhu *nozzle* menyebabkan penurunan kekerasan yang signifikan dari 74.9 ke 67 Shore A.
3. Kombinasi Optimal:
 - o Kekerasan tertinggi (74.9 Shore A) dicapai pada kombinasi kecepatan cetak 90 mm/s dan suhu *nozzle* 230°C.

3. 2. Pembahasan

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa variasi suhu *nozzle* dan kecepatan cetak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan produk 3D *printing*. Pada kecepatan cetak 90 mm/s dan penurunan suhu *nozzle* dari 240°C ke 230°C menyebabkan peningkatan kekerasan spesimen, yang menunjukkan bahwa *print speed* yang lebih tinggi meningkatkan adhesi antar lapisan filamen TPU 95A, sehingga menghasilkan produk yang lebih solid dan keras. Namun, pada kecepatan cetak 70 mm/s dan 80 mm/s dengan suhu 230°C - 240°C, menghasilkan kekerasan yang tidak konsisten atau menurun. Kemungkinan ini terjadi karena pendinginan yang tidak merata, yang mana pada kecepatan cetak yang lebih tinggi, material yang didepositkan mungkin memiliki waktu yang lebih singkat untuk menyatu sepenuhnya sebelum pendinginan terjadi, sehingga menghasilkan lapisan yang lebih padat dan

keras. Sementara itu, pada kecepatan cetak yang lebih rendah, material mungkin memiliki lebih banyak waktu untuk menyatu, tetapi jika suhu *nozzle* terlalu tinggi, viskositas material dapat menurun, sehingga menyebabkan material mengalir lebih lambat dan menghasilkan hasil akhir yang lebih lembut [9].

Fenomena ini juga terlihat pada spesimen dengan kecepatan cetak 80 mm/s, di mana pada suhu *nozzle* 240°C terjadi peningkatan kekerasan dibandingkan pada suhu 230°C, dengan nilai tertinggi mencapai 72.7 Shore A. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada kecepatan cetak yang lebih tinggi, suhu *nozzle* yang lebih tinggi mungkin membantu dalam meningkatkan aliran material, yang dapat memperbaiki adhesi antar lapisan meskipun viskositasnya berkurang. Hasil ini menunjukkan bahwa kecepatan cetak dan suhu *nozzle* harus dipilih dengan cermat untuk mengoptimalkan kekerasan produk. Kombinasi terbaik dalam penelitian ini adalah pada kecepatan cetak 90 mm/s dan suhu *nozzle* 230°C, yang menghasilkan spesimen dengan kekerasan tertinggi. Dalam aplikasi industri, seperti otomotif atau produk medis yang membutuhkan daya tahan tinggi, kombinasi parameter ini bisa diterapkan untuk mendapatkan kualitas produk yang optimal. Selain itu, penurunan kekerasan pada suhu *nozzle* 240°C menunjukkan bahwa suhu tinggi tidak selalu menguntungkan, terutama ketika dikombinasikan dengan kecepatan cetak yang tinggi. Oleh karena itu, pengaturan parameter yang seimbang sangat penting untuk memastikan hasil cetakan 3D yang berkualitas tinggi dengan material TPU 95A.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi kecepatan cetak (*print speed*) dan suhu *nozzle* berpengaruh signifikan terhadap kekerasan pada produk 3D *printing* yang menggunakan material filamen TPU 95A. Peningkatan kecepatan cetak cenderung meningkatkan kekerasan spesimen, terutama pada suhu *nozzle* yang lebih rendah (230°C). Namun, efek kecepatan cetak pada kekerasan menjadi kurang konsisten pada suhu *nozzle* yang lebih tinggi (240°C). Hal ini mengindikasikan bahwa kombinasi antara kecepatan cetak dan suhu *nozzle* harus dikontrol dengan cermat untuk mencapai hasil kekerasan yang optimal.

Referensi

- [1] S. Kumara, S. Putra, M. A. Ds, R. Sari, and S. Ds, "Seminar Nasional Sistem Informasi dan Teknologi Informasi 2018 SENSITEK 2018 STMIK Pontianak," 2018. [Online]. Available: <http://www.insinyoer.com/wp->
- [2] Reezcky Noer Allamsyah Santoso, "PENGARUH PARAMETER 3D PRINTING MATERIAL FILAMEN THERMOPLASTIC POLYURETHANE (TPU) TERHADAP KUALITAS PRODUK 3D PRINTING FUSED FILAMENT FABRICATION (FFF) STUDI KASUS SOFT MOLD VACCUM INFUSION PROCESS (VIP)," Yogyakarta, 2022.
- [3] "PDP Dani Mardiyana".
- [4] J. Teknik Mesin and P. Manufaktur Negeri Bangka Belitung, "Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex," *Jurnal Teknologi Manufaktur*, vol. 11, no. 01, 2019.
- [5] Redy, "OPTIMASI PARAMETER PRODUK 3D PRINTING TERHADAP KUAT TARIK MENGGUNAKAN FILAMEN TPU (THERMOPLASTIC POLYURETHANE)," BANGKA BELITUNG, 2023.
- [6] 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.
- [7] F. Putra Bowo, Z. Sirwansyah Suzen, and Y. Oktriadi, "Pengaruh Infill Geometry, Printing Speed dan Nozzle Temperature terhadap Kekuatan Impak Menggunakan Filamen ST PLA," *Jurnal Syntax Admiration*, vol. 2, no. 7, pp. 1257–1268, Jul. 2021, doi: 10.46799/jsa.v2i7.265.
- [8] "Shore hardness test ISO 48-4, ASTM D2240 _ ZwickRoell".
- [9] A. A. Ansari and M. Kamil, "Effect of print speed and extrusion temperature on properties of 3D printed PLA using fused deposition modeling process," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2021, pp. 5462–5468. doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.137.