

PENGARUH VARIASI LAYER HEIGHT & PRINT SPEED TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KEKERASAN PADA SPESIMEN PRODUK BERFILAMEN TPU 95A

Oleh : Dodi Iwan Sumarno¹, Dani Mardiyana², Zaid Sulaiman³, Lazuardi akmal⁴, Ramdan Rizki Munggaran⁵

Tenik Mesin, Universitas Nusa Putra, Sukabumi, Indonesia

E-mail : ¹dodi.iwans@nusaputra.ac.id; ²dani.mardiyana@nusaputra.ac.id;

³zaid.sulaiman@nusaputra.ac.id; ⁴lazuardi.akmal@nusaputra.ac.id;

⁵ramdan.rizki_tm21@nusaputra.ac.id;

Abstrak

3D printing merupakan salah satu teknologi Additive Manufacturing (AM) yang dapat membuat objek 3D dengan cepat dan murah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi parameter layer height dan print speed terhadap nilai kekerasan dan kekuatan tarik spesimen material TPU 95A. TPU 95A merupakan material elastomer yang fleksibel serta memiliki sifat mekanik yang baik. Spesimen dicetak menggunakan enam kombinasi parameter yang terdiri dari dua nilai layer height 0,2 mm dan 0,25 mm serta tiga nilai print speed 70 mm/s, 80 mm/s, dan 90 mm/s. Pengujian kekerasan dilakukan berdasarkan standar ASTM D2240 menggunakan Durometer Digital Shore A, sedangkan uji tarik mengacu pada standar JIS K6251:2017. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi layer height 0,2 mm dan print speed 70 mm/s menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar 74,9 Shore A dan kekuatan tarik tertinggi sebesar 26,099 MPa. Sebaliknya, kekerasan dan kekuatan tarik terendah ditemukan pada kombinasi print speed 90 mm/s dengan layer height 0,25 mm. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap optimalisasi parameter proses 3D printing menggunakan material fleksibel seperti filamen TPU-95A.

Kata kunci : *3D printing, TPU 95A, Layer height, Print speed, Uji Tarik, Uji Kekerasan.*

Abstract

3D printing is one of the Additive Manufacturing (AM) technologies that can create 3D objects quickly and cheaply. This study aims to determine the effect of variations in layer height and print speed parameters on the hardness and tensile strength of TPU 95A material specimens. TPU 95A is a flexible elastomer material and has good mechanical properties. Specimens were printed using six parameter combinations consisting of two layer height values of 0.2 mm and 0.25 mm and three print speed values of 70 mm/s, 80 mm/s, and 90 mm/s. Hardness testing was carried out based on the ASTM D2240 standard using a Digital Shore A Durometer, while tensile testing referred to the JIS K6251:2017 standard. The results showed that the combination of a layer height of 0.2 mm and a print speed of 70 mm/s produced the highest hardness of 74.9 Shore A and the highest tensile strength of 26.099 MPa. Conversely, the lowest hardness and tensile strength were found in the combination of a print speed of 90 mm/s with a layer height of 0.25 mm. This research contributes to the optimization of 3D printing process parameters using flexible materials such as TPU-95A filament.

Keywords : *3D printing, TPU 95A, Layer height, Print speed, Tensile test, Hardness test.*

1. Pendahuluan (TNR 12 Bold)

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 uatama [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 berfilamen TPU 95A [11].

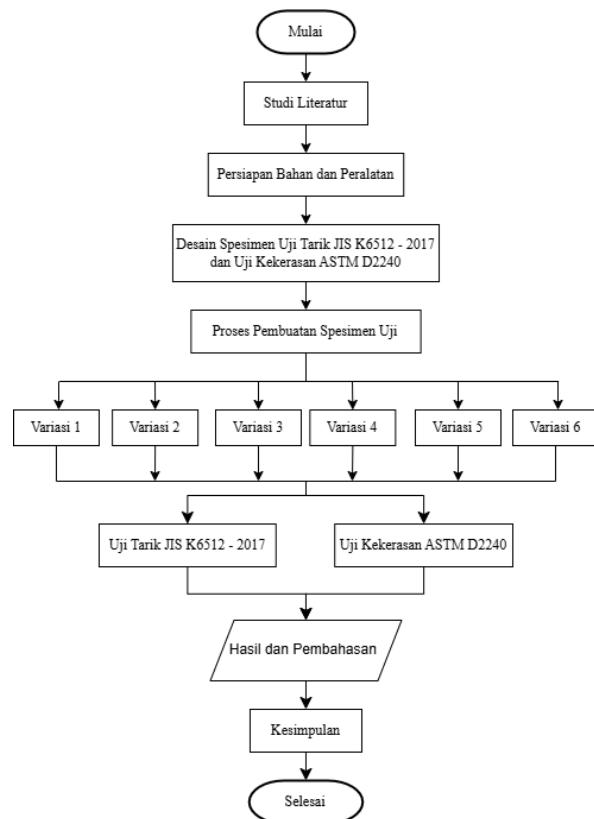
Penelitian pada penggunaan material Elastomer dan non elastomer dengan proses FDM telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya dengan tujuan yang beragam. Hasdiansah dkk (2018) meneliti tentang pengaruh parameter proses *3D printing* terhadap elastisitas produk TPU (*Thermoplastic Polyurethane*). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa *ekstruder temperature* dan *layer thicknees* 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 kekuatan tarik serta 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. Metodologi Penelitian

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



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Berdasarkan Gambar 1, diagram alir penelitian ini menunjukkan tahapan yang dimulai dari studi literatur dan dilanjutkan dengan persiapan bahan dan peralatan. Selanjutnya dilakukan desain spesimen uji sesuai standar JIS K6512:2017 untuk uji tarik dan ASTM D2240 untuk uji kekerasan, lalu dilanjutkan dengan proses pembuatan spesimen uji. Penelitian ini menggunakan

enam variasi spesimen yang masing-masing diuji tarik dan diuji kekerasannya. Hasil pengujian kemudian dianalisis dalam bagian hasil dan pembahasan untuk selanjutnya disimpulkan pada akhir penelitian.

2.1 Persiapan Alat dan Bahan serta Pengaturan Parameter

Pada penelitian ini, filamen TPU 95A yang digunakan berwarna putih transparan merk e-Sun dengan diameter 1,75 mm sebagai bahan material dasar untuk pembuatan spesimen uji tarik dan uji kekerasan. Adapun spesifikasi dari filament TPU 95A yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi filament TPU 95A

<i>Spesifikasi</i>	<i>TPU 95A</i>
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

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 [13] yang disimpan dalam format file *standard tessellation language (STL)*, kemudian file STL tersebut dimasukkan kedalam *Software Ultimaker 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.

Spesimen uji dicetak dengan kepadatan infill sebesar 100%, yang berarti seluruh volume diisi penuh untuk memaksimalkan kekuatan struktur. Suhu bed pemanas diatur hingga 60 °C guna meningkatkan daya rekat antara lapisan pertama filamen dengan permukaan cetak. Pola isi yang digunakan adalah pola konsentris, yang menghasilkan struktur internal yang stabil dan tahan terhadap deformasi selama maupun setelah proses pencetakan [14].

Penelitian ini berfokus pada dua variabel utama dalam proses pencetakan, yaitu *layer height* dan *print speed*. Setiap variabel diuji dalam tiga tingkat variasi, seperti yang tercantum pada Tabel 2, untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap sifat mekanik spesimen. Tujuannya adalah menemukan kondisi pencetakan yang paling optimal agar kualitas hasil cetak dan performa mekanik produk akhir dapat ditingkatkan.

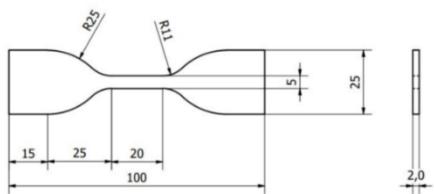
Dengan pendekatan eksperimen yang terencana dan sistematis, studi ini diharapkan memberikan data yang bermanfaat bagi pengembangan material TPU-95A, terutama untuk aplikasi pencetakan 3D yang membutuhkan material fleksibel dengan performa mekanik yang baik.

Tabel 2. Parameter proses dan levelnya

<i>Layer height (mm)</i>	<i>Print speed (mm/s)</i>	<i>Variasi Parameter</i>
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

2.2 Uji Tarik

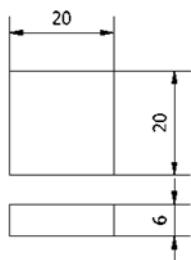
Pengujian tarik dalam penelitian ini mengacu pada standar JIS K6251-2017, yang dirancang untuk mengukur sifat tarik pada material elastomer maupun material sejenis. Spesimen uji dibuat mengikuti bentuk dan ukuran sesuai standar, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Untuk setiap kombinasi parameter proses pencetakan, dicetak dua spesimen uji guna memastikan data yang dihasilkan cukup untuk mendukung validitas dan reliabilitas hasil. Strategi ini digunakan untuk mengurangi kemungkinan variasi dalam hasil pengujian dan memperoleh representasi yang akurat mengenai sifat mekanik material yang diteliti [15].

**Gambar 2.** Dimensi spesimen uji tarik

Pengujian tarik dilakukan menggunakan alat uji Shimadzu AGS-X dengan kapasitas maksimum 10 kN dan tingkat akurasi yang tinggi. Pengujian dilakukan pada kecepatan 100 mm/menit, sesuai dengan kecepatan yang disarankan untuk material jenis elastomer. Pemilihan kecepatan ini dimaksudkan agar proses deformasi spesimen dapat terekam secara optimal serta menghasilkan data yang konsisten di seluruh sampel uji.

2.3 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini mengikuti acuan standar ASTM D2240, yang digunakan untuk menilai tingkat kekerasan material elastomer dengan metode pengukuran Shore A. Spesimen uji dibuat dengan dimensi 20×20 mm dan ketebalan minimal 6 mm, sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan dalam standar tersebut, seperti ditampilkan pada Gambar 3.

**Gambar 3.** Dimensi spesimen uji kekerasan

Pemilihan standar ini dilakukan karena dinilai paling relevan dan tepat untuk mengukur kekerasan pada material elastomer termoplastik seperti eFlex TPU-95A yang digunakan dalam studi ini [13].

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan Durometer Digital Shore A dengan tingkat akurasi 0,01, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 (a). Prosedur pengujian mengikuti standar ASTM D2240, 206

yang mencakup beberapa langkah, yaitu: memastikan permukaan spesimen bersih dari kotoran dan diletakkan pada permukaan datar, menyiapkan serta mengkalibrasi durometer, menekan alat secara tegak lurus hingga indentor menembus permukaan spesimen dengan sempurna, dan melakukan pengukuran pada lima titik berbeda dengan jarak minimal 6 mm antar titik pengukuran, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.

**Gambar 4.** (a) Durometer digital shore A (b) Proses pengujian spesimen**Gambar 5.** Ilustrasi titik pengujian pada spesimen

Pengukuran kekerasan dilakukan pada beberapa titik di permukaan spesimen agar nilai kekerasan yang diperoleh dapat mewakili distribusi kekerasan material secara keseluruhan, sekaligus mengurangi efek dari ketidakhomogenan material maupun ketidakteraturan permukaan. Nilai kekerasan dari setiap titik pengukuran kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai akhir dari masing-masing spesimen. Metode ini diterapkan guna menghasilkan data yang lebih akurat dalam menilai kekerasan material eFlex TPU-95A, yang kemudian akan dianalisis kaitannya dengan kondisi proses pencetakan serta karakteristik mekanik produk [16].

3. Hasil Dan Pembahasan

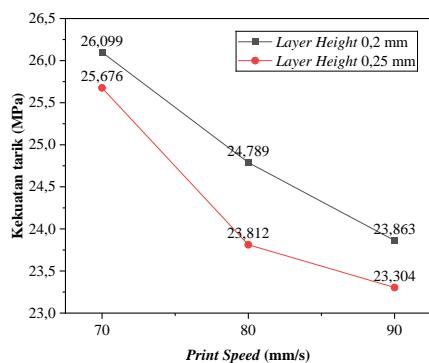
3.1 Hasil Pengujian Tarik

Dari hasil pengujian tarik yang telah dilakukan, diperoleh nilai kekuatan tarik spesimen dengan variasi *layer height* dan *print speed* yang ditampilkan pada Tabel 3. Data ini mencakup hasil pengujian dalam dua replikasi serta nilai rata-rata yang menunjukkan

performa mekanik material di setiap kondisi pencetakan.

Tabel 3. Hasil pengujian kekuatan tarik spesime

Nama Spesimen	Layer Height (mm)	Print Speed (mm/s)	Travel Speed (mm/min)	Tensile Break (MPa)		Rata-rata (MPa)
				1	2	
Variasi 1	0,2	70	100	26,833	25,366	26,099
Variasi 2	0,25	70	100	24,745	26,608	25,676
Variasi 3	0,2	80	100	25,861	23,717	24,789
Variasi 4	0,25	80	100	21,994	25,631	23,812
Variasi 5	0,2	90	100	22,647	25,080	23,863
Variasi 6	0,25	90	100	22,107	24,502	23,304



Gambar 5. Grafik hubungan print speed terhadap nilai kekuatan tarik pada dua variasi layer height

Berdasarkan hasil pengujian tarik yang ditampilkan pada Tabel 3 dan Gambar 5, terlihat bahwa variasi *layer height* dan *print speed* berpengaruh terhadap nilai kekuatan tarik spesimen berbahan TPU-95A. Spesimen dengan *layer height* 0,2 mm dan *print speed* 70 mm/s mencatat nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 26,099 MPa. Seiring dengan peningkatan *print speed*, terjadi penurunan nilai kekuatan tarik pada kedua variasi *layer height*. Pada *layer height* 0,2 mm, nilai kekuatan tarik menurun dari 26,099 MPa menjadi 23,853 MPa saat *print speed* meningkat dari 70 mm/s ke 90 mm/s. Hal serupa juga terjadi pada *layer height* 0,25 mm, di mana kekuatan tarik menurun dari 25,676 MPa menjadi 23,304 MPa. Selain itu, pada setiap tingkat *print speed*, *layer height* 0,2 mm secara konsisten menunjukkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan *layer height*

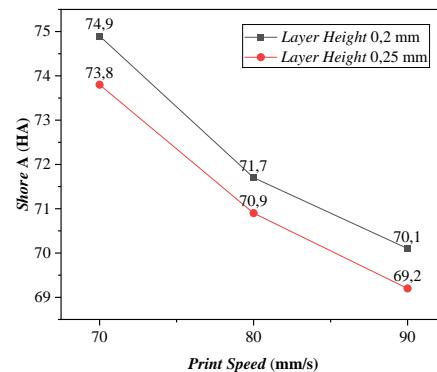
0,25 mm.

3.2 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 kekerasan, data tersebut disajikan dalam tabel 4 dan gambar 6.

Tabel 4. Hasil pengujian kekerasan spesimen

Spesimen n	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	75,5	75,5	74,5	74,5	74,5	74,9
Variasi 2	0,25	70	74	73,5	74	74	73,5	73,8
Variasi 3	0,2	80	71,5	71,5	72	71,5	72	71,7
Variasi 4	0,25	80	71,5	70	70,5	71	71,5	70,9
Variasi 5	0,2	90	70	70	70,5	69,5	70,5	70,1
Variasi 6	0,25	90	69,5	69	69	69,5	69	69,2



Gambar 6. Grafik hubungan print speed terhadap nilai kekerasan pada dua variasi layer height

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan Shore A yang ditampilkan pada Tabel 4 dan Gambar 6, terlihat bahwa variasi *layer height* dan *print speed* berpengaruh terhadap nilai kekerasan spesimen hasil cetak 3D. Terdapat tren penurunan nilai kekerasan seiring dengan meningkatnya *print speed* pada kedua variasi *layer height* yang diuji, yaitu 0,2 mm dan 0,25 mm. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada *layer height* 0,2 mm dengan *print speed* 70 mm/s, yaitu sebesar 74,9 HA. Sedangkan pada *layer height* 0,25 mm dengan kecepatan cetak yang sama, nilai kekerasan maksimum tercatat

sebesar 73,8 HA.

Saat *print speed* meningkat hingga 90 mm/s, nilai kekerasan menurun menjadi 70,1 HA untuk *layer height* 0,2 mm dan 69,2 HA untuk *layer height* 0,25 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa spesimen dengan *layer height* yang lebih kecil cenderung memiliki kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen dengan *layer height* yang lebih besar pada setiap tingkat kecepatan cetak yang diuji. Tren ini menguatkan bahwa peningkatan kecepatan cetak berdampak pada penurunan kekerasan material, sekaligus menggambarkan perbedaan karakteristik kekerasan antara kedua *layer height* yang digunakan dalam penelitian ini.

3.3 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian tarik dan analisis yang dilakukan, ditemukan bahwa kombinasi antara *print speed* dan *layer height* memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap kekuatan tarik spesimen hasil cetakan 3D. Hubungan antara kedua variabel tersebut terlihat dari kecenderungan menurunnya kekuatan tarik seiring dengan meningkatnya kecepatan pencetakan, baik pada *layer height* 0,2 mm maupun 0,25 mm.

Penurunan kekuatan tarik ini disebabkan oleh berkurangnya waktu fusi antar lapisan saat nozzle bergerak dengan kecepatan lebih tinggi. Akibatnya, ikatan antar lapisan menjadi kurang sempurna, sehingga kualitas sambungan menurun dan spesimen menjadi lebih rapuh terhadap gaya tarik. Selain itu, spesimen dengan *layer height* 0,2 mm secara konsisten menunjukkan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan *layer height* 0,25 mm pada seluruh variasi kecepatan cetak. Hal ini disebabkan oleh lapisan yang lebih tipis memungkinkan proses pengikatan antar lapisan berlangsung lebih efektif, menghasilkan struktur material yang lebih padat dan kuat [3][17].

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan dan analisisnya, kombinasi *print speed* dan *layer height* juga memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan material TPU 95A. Secara umum, peningkatan kecepatan cetak cenderung menurunkan nilai kekerasan Shore A pada kedua tingkat *layer height* yang diuji. Fenomena ini menunjukkan bahwa semakin

cepat laju pencetakan, semakin terbatas waktu pendinginan lapisan sebelumnya sebelum lapisan berikutnya diterapkan, sehingga ikatan antar lapisan menjadi kurang sempurna dan mengurangi kekerasan akhir material [12].

Spesimen dengan *layer height* 0,2 mm cenderung memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan spesimen dengan *layer height* 0,25 mm pada semua rentang kecepatan cetak yang diuji. Perbedaan ini berkaitan dengan jumlah lapisan yang tercetak; semakin kecil *layer height*, semakin banyak jumlah lapisan dalam satu spesimen, sehingga tekanan antar lapisan dapat terdistribusi lebih merata. Kondisi ini berkontribusi pada terbentuknya struktur internal yang lebih kompak dan berdampak pada peningkatan kekerasan. Sebaliknya, spesimen dengan *layer height* yang lebih besar memiliki jumlah lapisan lebih sedikit, yang menyebabkan struktur internal lebih longgar dan nilai kekerasan lebih rendah [18].

Penurunan kekerasan juga erat kaitannya dengan kualitas ikatan antar lapisan. Pada kecepatan cetak tinggi, material hasil ekstrusi tidak memiliki waktu yang cukup untuk mendingin dan berikatan dengan lapisan sebelumnya secara optimal. Akibatnya, lapisan tidak menyatu dengan baik, menghasilkan struktur dengan densitas lebih rendah dan kekerasan menurun. Sebaliknya, pencetakan dengan kecepatan rendah memberikan waktu pendinginan dan pelekatan lapisan yang lebih lama, meningkatkan kekuatan ikatan antar lapisan dan berdampak positif terhadap nilai kekerasan [19].

Selain itu, variasi nilai kekerasan antar titik pengujian pada satu spesimen juga dapat disebabkan oleh sifat alami proses pencetakan 3D berbasis *additive manufacturing*, yang membentuk objek secara bertahap lapis demi lapis. Proses ini memungkinkan terjadinya variasi lokal akibat ketidakhomogenan selama pencetakan, termasuk penyimpangan atau ketidakteraturan kecil yang bersifat acak dan sulit dihindari dalam produksi [20].

Hasil penelitian ini menegaskan pentingnya optimasi parameter cetak 3D untuk mencapai sifat mekanik yang diinginkan. Studi ini memiliki implikasi signifikan bagi pengembangan teknologi 3D

printing, terutama dalam menentukan parameter proses yang optimal guna menghasilkan produk dengan karakteristik mekanik yang sesuai. Dalam industri *additive manufacturing*, pemilihan parameter cetak yang tepat sangat krusial untuk memastikan kualitas produk akhir.

4. Kesimpulan

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

- a. Kombinasi parameter *layer height* 0,2 mm dan *print speed* 70 mm/s menghasilkan nilai kekuatan tarik dan kekerasan tertinggi, masing-masing sebesar 26,099 MPa dan 74,9 Shore A.
- b. Peningkatan *print speed* dari 70 mm/s menjadi 90 mm/s menyebabkan penurunan nilai kekuatan tarik dan kekerasan pada semua variasi *layer height*.
- c. Spesimen dengan *layer height* 0,2 mm secara konsisten menunjukkan sifat mekanik lebih baik dibandingkan *layer height* 0,25 mm, baik pada pengujian tarik maupun kekerasan.

Daftar Pustaka

- 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.
- P. Pristiansyah, 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.
- P. Pristiansyah, 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.
- 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.
- Hasdiansah and Herianto, “Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Elastisitas Produk Yang Dihasilkan,” *Semin. Nas. Inov. Teknol. UN PGRI Kediri*, pp. 187–192, 2018.
- E. I. Riza, C. Budiyantoro, 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.
- 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.
- M. Dylan, A. Soewono, and M. Darmawan, “Laju Aliran pada Nozzle Printer Tiga Dimensi untuk Material Thermoplastic Polyurethane POLYURETHANE,” *Cyclinder*, vol. 08, no. 01, pp. 1–7, 2022.
- 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.
- D. Mardiyana, “Optimalisasi Sifat Mekanik Produk 3D Printing FDM Berfilamen TPU 95A untuk Car Bumper Guard menggunakan Metode Taguchi,” 2023.
- 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.

- 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.
- American Society for Testing and Materials, “ASTM D2240-15 Standard Test Methods for Rubber Property-Durometer Hardness,” *Annu. B. ASTM Stand.*, pp. 1–13, 2015, doi: 10.1520/D2240-15.2.
- D. Mardiyana, D. I. Sumarno, M. A. S. Yudono, and L. A. Islami, “Kajian Kelayakan Sifat Mekanik Produk 3D Printing FDM Berfilamen eFlex TPU-95A untuk Aplikasi Polisi Tidur,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 19, no. 3, pp. 457–468, 2024, doi: 10.32497/jrm.v19i3.5966.
- D. Mardiyana, Z. Sulaiman, S. Ihsan, F. Ridha, and T. Rahman, “Rancang Bangun 3D Printer FDM Model Cartesian Berbasis Arduino,” *JMPM (Jurnal Mater. dan Proses Manufaktur)*, vol. 7, no. 1, pp. 63–72, 2023, doi: 10.18196/jmpm.v7i1.16866.
- H. Wibowo, A. Wibowo, A. Farid, and A. Shidiq, “Karakteristik Pelapisan Pada Produk Printer Tiga Dimensi (3d) Menggunakan Material Filament ABS, PLA Dan HIPS,” *Engineering*, vol. 13, no. 1, pp. 9–18, 2022.
- R. D. Salindeho, J. Soukota, and R. Poeng, “Pemodelan pengujian tarik untuk menganalisis sifat mekanik material,” *J. Online Poros Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 88–98, 2018.
- Asmeati, M. Y. Ali, I. Purnama, and M. Paloboran, “Analisis uji mekanik dan struktur makro dan mikro terhadap material komposit dengan arah acak serat ampas tebu,” *Media Komun. Pendikan Teknol. dan Kejuru.*, pp. 91–102, 2016.
- G. R. Cahyono, J. Iberahim, P. R. Ansyah, and S. H. Wibowo, “Pengaruh Print Speed Extruder dan Height Layer terhadap Kekuatan Tekan dan Foto Makro pada Hasil 3D Printing,” *Bul. Profesi Ins.*, vol. 5, no. 1, pp. 9–15, 2022, doi: 10.20527/bpi.v5i1.134.
- S. Cahyati and Y. Al Furqon, “the Layer Height Variations Effect on Tensile Strength of 3D Printing Product Pla Material Based,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 3, pp. 647–657, 2022, doi: 10.21776/jrm.v13i3.823.