

Pengaruh Variasi Infill Patern (Cocentric, Cross, dan Cross 3D) terhadap Kekerasan pada Produk 3D Printing befilament TPU 95A

Talenta agus Bahari Tafonao^{a,1,*}, Dani Mardiyana^{a,2}

^a Nusa Putra University, Jl. Raya Cibolang Cisaat, Sukabhumi 43152, Indonesia

¹ talenta.agus_tm22@nusaputra*; ² dani.mardiyana@nusaputra.ac.id

ABSTRACT

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dampak dari variasi pola pengisian (*Concentric*, *Cross*, dan *Cross 3D*) terhadap nilai kekerasan dari produk yang dihasilkan melalui pencetakan 3D dengan bahan filamen *Thermoplastic Polyurethane* (TPU) 95A. Pencetakan dilakukan dengan menggunakan printer Ender 3 Pro dengan pengaturan yang tetap, seperti kecepatan cetak 90 mm/s, tinggi lapisan 0,2 mm, suhu *nozzle temperatur* 230°C, dan kepadatan *infill density* 100%. Variabel utama yang diuji dalam eksperimen ini adalah pola pengisian. Pengukuran kekerasan dilakukan dengan menggunakan durometer Shore A sesuai dengan standar ASTM D2240. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa pola *infill Pattern Cross* menghasilkan nilai kekerasan tertinggi (61,4 HA), diikuti oleh *Cross 3D* (61,1 HA), dan terakhir *Concentric* (60,9 HA). Variasi nilai kekerasan ini dipengaruhi oleh struktur internal dan arah pengisian material yang berpengaruh pada kekakuan produk. Pola *Cross* memberikan struktur yang lebih stabil karena pengisian dilakukan dalam dua arah, sedangkan *Cross 3D* memiliki struktur yang lebih kompleks namun kurang stabil akibat distribusi lapisan yang tidak merata. Pola *Concentric* menunjukkan kekakuan yang paling rendah karena arah pengisiannya tidak mendukung penguncian lapisan yang baik. Temuan ini memberikan panduan yang penting dalam memilih pola pengisian yang optimal untuk produk pencetakan 3D berbahan TPU, dengan mempertimbangkan kekerasan dan stabilitas mekanik yang terbaik.

KEYWORDS

3D printing
Concentric
cross
cross 3D
kekerasan

1. Pendahuluan

Perkembangan dalam teknologi pencetakan aditif, terutama *3D printing*, telah membawa perubahan besar dalam industri dan rekayasa produk. Salah satu jenis printer 3D yang populer adalah yang menggunakan teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM), yang memanfaatkan filamen termoplastik untuk membentuk objek dengan cara bertahap [1]. Pencetakan 3D adalah metode manufaktur digital yang mengubah desain yang ada dalam bentuk virtual menjadi objek fisik 3D yang dapat dilihat dan memiliki berat. Umumnya, 3D printing memanfaatkan material yang dikenal sebagai filamen, tetapi berbagai parameter pencetakannya berbeda tergantung pada spesifikasi filamen tersebut [2]. Penyesuaian parameter dalam 3D printing dilakukan menggunakan aplikasi yang sesuai dengan jenis mesin 3D printer yang digunakan. Salah satu aplikasi yang sering dipakai untuk mengatur parameter pada mesin 3D printer adalah ultimaker Cura.

Dalam studi sebelumnya yang menggunakan mesin *Ender 3 Pro*, ditemukan bahwa variasi dalam kecepatan cetak dan tinggi lapisan bisa berdampak pada kekerasan produk yang terbuat dari TPU 95A. Penelitian kali ini bertujuan untuk mencari tahu kombinasi dari parameter seperti kecepatan cetak 90 mm/s dan tinggi lapisan 0,2 mm, serta variasi pola isian yang terdiri dari *concentric*, *cross*, dan *cross 3D* [3],[4]. Setiap pola ini memberikan distribusi material yang berbeda, sehingga menghasilkan perbedaan dalam nilai kekerasan produk.

Namun, dengan menggunakan parameter yang sama (*prin speed* 90 mm/s dan tinggi lapisan 0,2 mm), masih belum diketahui secara pasti apakah ketiga pola infill tersebut akan menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda secara signifikan. Pertanyaan utama dalam penelitian ini adalah apakah hanya dengan mengubah pola infill, tanpa mengubah parameter lain, dapat memberikan perbedaan nilai pada kekerasan produk 3D printing yang terbuat dari TPU 95A.

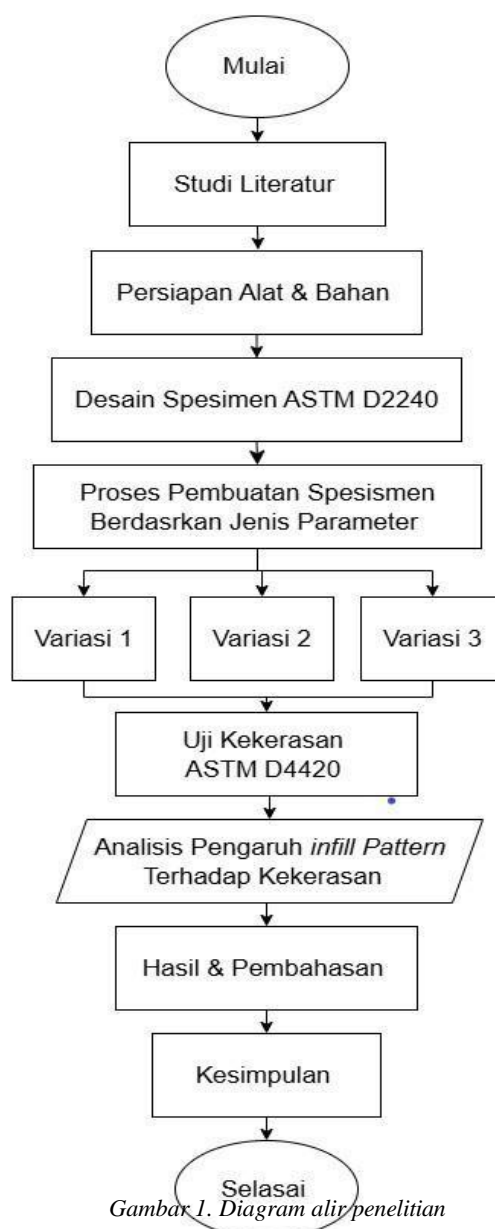
Dengan demikian, fokus dari penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi secara mendalam bagaimana variasi pola infill (*Concentric*, *Cross*, & *Cross 3D*) memengaruhi tingkat kekerasan produk yang dihasilkan oleh printer 3D dengan parameter yang tetap terjaga [5]. Hasil dari kajian ini diharapkan

dapat memberikan kontribusi berarti dalam menganalisis penetapan parameter desain untuk printer 3D yang menggunakan TPU 95A, guna menciptakan produk cetakan dengan karakteristik mekanik yang terbaik.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah pendekatan kuantitatif dengan jenis eksperimen. Penelitian ini bersifat eksperimen dan bertujuan untuk mengetahui bagaimana variasi pola infill (*concentric*, *cross*, dan *cross 3D*) mempengaruhi tingkat kekerasan pada produk yang dihasilkan dari 3D printing menggunakan filament TPU 95A. Dalam penelitian ini, proses pencetakan dilakukan dengan printer Ender 3 Pro, dengan parameter tetap seperti suhu *nozzle temperature* 230°C, *Print speed* 90 mm/s, *layer height* 0,2 mm, dan *infill density* 100% [6].

Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar. 1 yang menunjukkan diagram alir penelitian. Diagram alir ini bertujuan untuk menggambarkan langkah-langkah secara sistematis mulai dari perencanaan, pengumpulan data, analisis hasil, sampai penarikan kesimpulan. Proses ini terkait dengan pengaturan variabel dalam proses pencetakan, seperti suhu cetakan, kecepatan cetak, dan tinggi lapisan, yang masing-masing diuji pada berbagai level variasi..



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Persiapan Alat & Bahan

a. Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini, di antaranya sebagai berikut:

- Mesin 3D printer

Alat 3D yang dimanfaatkan dalam studi ini adalah Ender 3 Pro, yang diproduksi oleh Shenzhen Technology Co. , Ltd. Jenis teknologi ini termasuk dalam kategori Fused Filament Modeling. Printer 3D tersebut memiliki area cetak dengan ukuran 220 mm x 220 mm x 240 mm. Bagian ekstruder dari printer ini dilengkapi dengan nozzle berdiameter 0,4 mm.



Gambar 2. 3D printer

- Durometer shore A

Durometer Shore A merupakan alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan pada bahan-bahan yang lunak dan elastis, seperti karet, elastomer, dan polimer. Skala Shore A berkisar antara 0 hingga 100, di mana angka yang lebih tinggi menunjukkan tingkat kekerasan yang lebih tinggi pada produk cetakan [7],[8].



Gambar 3. durometer shore A

- Laptop.

Dalam studi ini, perangkat laptop dimanfaatkan untuk mengoperasikan perangkat lunak Autodesk Inventor 2021, yang berfungsi dalam pembuatan objek tiga dimensi secara

digital. Selain itu, laptop juga digunakan untuk menjalankan perangkat lunak Ultimaker Cura, yang bertugas dalam pengaturan parameter cetakan.



Gambar 4. Laptop atau PC

b. Bahan

Bahan yang dipakai adalah filamen eFlex TPU95A dengan ukuran 1,75 mm dan warna transparan putih, dibuat oleh *Shenzhen Esun Industrial CO, Ltd* dari China. Filamen *eSun* dapat digunakan untuk membuat contoh uji kekerasan dan berbagai tujuan lainnya. Spesifikasi filamen ini adalah Material *Thermoplastic Polyurethane* (TPU 95A), yang dapat dilelehkan pada suhu antara 220-250 derajat dengan tempat pemanas pada suhu 20 C hingga 60 C. Tabel 1 di bawah ini menunjukkan spesifikasi dari filamen TPU 95A..



Gambar 5. Thermoplastic Polyurethane (TPU 95A)

Table 1. Spesifikasi Filament TPU95A

Spesifikasi	TPU95A
Diameter	1.75
Printing Temperatur	220-250°C
Print speed	20-100mm/s
Bed Temperature	45-60°C
Net Weight	1kg

2.2. Proses Pembuatan Spesimen

Spesimen dibuat menggunakan printer 3D jenis *Fused Deposition Modeling* (FDM) Ender 3 Pro. Selama proses pencetakan, terdapat dua kelompok parameter yang diterapkan, yaitu parameter tetap dan parameter yang bervariasi. Parameter tetap adalah pengaturan yang tidak berubah selama pencetakan berlangsung, sehingga tetap konstan. Pengaturan yang tetap tersebut meliputi: suhu *nozzle temperature* yang dimulai pada 230°C, suhu bed 60°C, *infill density* 100%, *prin speed* 90mm/s, dan *laiyer height* 0,2 mm [9]. Di sisi lain, parameter bervariasi adalah pengaturan pencetakan yang diubah-ubah dengan menggabungkan berbagai opsi selama proses pembuatan spesimen. Salah satu parameter yang dimodifikasi adalah pola infill [10]. Tabel 2 menunjukkan jenis variasi tersebut.

Tabel 2. Variabel parameter

Nama spesimen	<i>Infill Pattern</i>
Variasi 1	<i>Concentric</i>
Variasi 2	<i>Cross</i>
Variasi 3	<i>Cross 3D</i>

Pada pengaturan parameter, tetap dan variabel diterapkan. File tersebut kemudian langsung diubah menjadi format *G-code* dan disimpan atau dipindahkan melalui *USB* untuk dieksekusi pada mesin printer 3D. Langkah berikutnya melibatkan kalibrasi mesin printer 3D sebelum pencetakan dimulai. Tujuannya adalah untuk meminimalkan risiko kegagalan selama proses pencetakan. Setelah semua tahap tersebut dilaksanakan, proses pencetakan menggunakan printer 3D dilakukan, dengan pengaturan parameter yang tercantum pada tabel 2 di atas, yang telah disesuaikan dengan spesifikasi standar dari mesin printer 3D dan digunakan dalam perangkat lunak Ultimaker Cura.

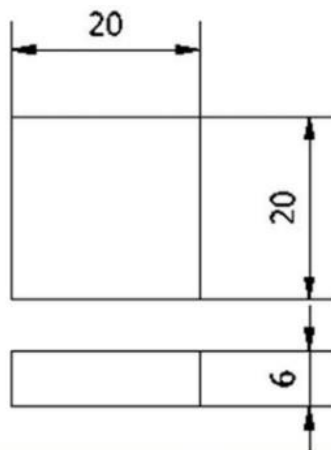
Metode ini menyediakan kerangka terstruktur untuk mengevaluasi dampak berbagai parameter pencetakan terhadap hasil dari printer 3D. Dengan demikian, proses produksi berbasis *eFlex* TPU-95A dapat dioptimalkan dengan lebih baik. Gambar 6 di bawah ini menunjukkan salah satu hasil cetakan dari mesin 3D dengan parameter yang serupa, serta memperlihatkan perbedaan jenis pola infill yang digunakan.



Gambar 6. hasil cetak 3D printer

2.2.1. Pengujian Kekerasan

Contoh pengujian untuk mengukur kekerasan dirancang sesuai dengan standar ASTM D2240, yang merupakan norma internasional untuk pengujian kekerasan pada bahan elastomer dan termoplastik fleksibel. Contoh tersebut berbentuk silinder memiliki diameter 20 x 20 mm dan ketebalan 6 mm. Dimensi tersebut dipilih agar sesuai dengan kebutuhan pengujian menggunakan durometer serta untuk menjamin konsistensi hasil terkait sifat mekanik dari material yang diuji [11].



Gambar 6. Desain Spesimen Uji Kekerasan ASTM D2240

Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat durometer jenis Shore A, yang umum digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan bahan elastis seperti TPU 95A. Proses pengujian ini melibatkan penekanan indenter durometer pada permukaan objek atau spesimen, agar nilai kekerasan yang diperoleh pada skala Durometer Shore A dapat valid. Sebelum melakukan pengukuran pada objek atau spesimen, penting untuk memastikan bahwa skala dimulai dari 0,00 durometer untuk menghindari kesalahan dalam nilai kekerasan[5],[12]. Tujuan dari nilai ini adalah untuk menentukan seberapa keras objek tersebut; semakin tinggi volume objek, semakin tinggi juga nilai skala yang diperoleh, yang menunjukkan kekerasan material yang lebih besar. Gambar 6 di bawah ini menunjukkan langkah awal dalam mengukur kekerasan pada spesimen.



Gambar 7. Pengujian keketrasa (a) Proses pengujian (b) Plustrasi titik pengujian.

Pengukuran dilakukan di beberapa lokasi untuk memastikan bahwa hasil pengujian produk menunjukkan kekerasan material secara konsisten. Ini bertujuan untuk menghindari variasi lokal yang mungkin muncul akibat tidak homogenya material atau ketidakrataan pada permukaan sampel. Setiap sampel diuji di lima lokasi yang berbeda pada permukaan, dan jarak antara titik pengukuran adalah 6 mm. Nilai dari setiap titik diolah untuk mendapatkan hasil permukaan [5]. Hasil pengukuran pada masing-masing titik dirata-ratakan, sehingga diperoleh nilai kekerasan untuk setiap sampel yang akan menjadi data utama dalam analisis. Ini dilakukan agar dapat membandingkan data kekerasan di antara variasi sampel dengan pola infill yang berbeda, seperti *Concentric*, *Cross*, dan *Cross 3D*.

3. Hasil Dan Pembahasan

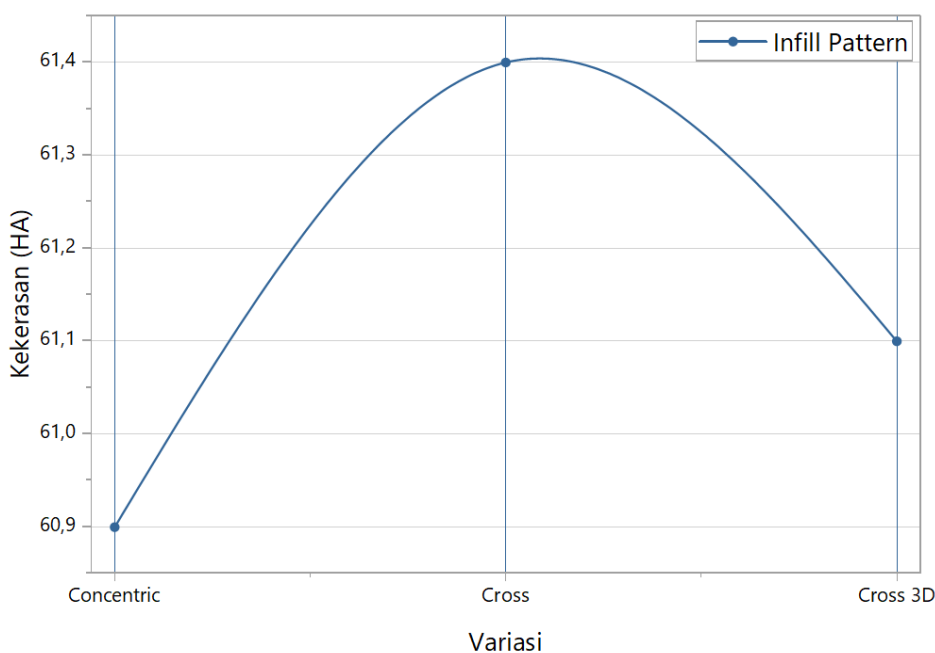
3.1. Hasil pengujian kekerasan

Hasil uji menunjukkan adanya variasi kekerasan pada produk yang dihasilkan oleh pencetakan 3D printer dengan tiga jenis pola infill, yaitu concentric, cross, dan cross 3D, menggunakan filament TPU 95A. Setiap contoh diuji di lima titik permukaan dengan menggunakan durometer Shore A, sesuai dengan standar ASTM D2240 [4]. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui kekerasan pada tiap titik yang diuji, lalu nilai-nilai ini dihitung untuk mendapatkan rata-rata pada setiap contoh. Uji ini bertujuan untuk mengukur seberapa besar perbedaan volume berpengaruh terhadap kekerasan yang ditimbulkan oleh variasi pola infill pada struktur internal hasil cetakan produk dari printer 3D.

Tabel 3. Hasil uji kekerasan menggunakan shore A

Variasi	Level Uji Kekerasan					Kekerasan (HA)
	test1	test2	test3	test4	test5	
Concentric	60.5	62	59.5	63.5	59	60.9
Cross	53.5	63	71.5	56.5	62.5	61.4
Cross 3D	64.5	58	60	65.5	57.5	61.1

Dalam hasil uji kekerasan tersebut, pola *Cross* menunjukkan tingkat kekerasan yang tinggi, diikuti oleh *Cross 3D*, dan yang terakhir adalah *Concentric*. Penjelasan untuk hal ini terletak pada distribusi materi dengan struktur internal yang dihasilkan, di mana pola *Cross* dan *Cross 3D* keduanya memiliki tingkat kekerasan serta kekakuan yang lebih baik dibandingkan pola *Concentric*.



Gambar 8. Hasil hubungan grafik pada layer height dan print speed terhadap variasi pola Infill pattern pada kekerasan

3.2. Pembahasan

Berdasarkan uji kekerasan yang telah dilakukan pada tiga jenis pola infill (*Concentric*, *Cross*, dan *Cross 3D*), diketahui bahwa pola *Cross* mendapatkan hasil terkuat dengan nilai rata-rata 61,4 HA. Diikuti oleh *Cross 3D* dengan nilai 61,1 HA, dan terakhir adalah *Concentric* dengan 60,9 HA. Temuan ini menunjukkan bahwa baik struktur internal maupun arah pengisian material berperan besar dalam kekakuan dan kemampuan menahan tekanan.

Pola *Cross*, yang menggunakan jalur pengisian di dua arah (*horizontal* dan *vertikal*), menawarkan dukungan struktur internal yang lebih stabil dan efektif saat menghadapi tekanan, karena lapisan-lapisan material saling mengunci satu sama lain. Di sisi lain, pola *Cross 3D*, meskipun memiliki desain yang

lebih rumit dengan pengisian di tiga arah, mungkin mengalami sedikit variasi dalam distribusi atau celah antar lapisan, yang mengakibatkan nilai kekerasannya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan *Cross*. Sementara itu, pola *Concentric*, yang mengisi dari pusat ke luar secara melingkar, menunjukkan kekakuan terendah karena arah pengisian tidak memberikan kunci struktural yang kuat terhadap tekanan dari luar. Pada pembahasan ini, saya dapat menarik kesimpulan bahwa faktor utama yang berpengaruh pada kekerasan cetakan 3D dari bahan TPU 95A adalah efisiensi distribusi material dan arah pengisian.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi pola infill memiliki dampak yang besar terhadap tingkat kekerasan pada produk yang dicetak menggunakan 3D printer dengan filament TPU 95A. Pola *Cross* mencatat kekerasan tertinggi jika dibandingkan dengan pola *Cross 3D* dan *Concentric*. Penyebabnya adalah struktur silang dua arah yang memberikan distribusi material yang lebih stabil dan kekakuan internal yang lebih tinggi. Sementara itu, *Cross 3D* memiliki struktur yang lebih rumit dengan pengisian dalam tiga dimensi, tetapi menghasilkan nilai kekerasan yang sedikit lebih rendah dibandingkan *Cross*. Penyebabnya mungkin adalah ketidakteraturan kecil dalam cara lapisan disebar. Pola *Concentric* menghasilkan kekerasan paling rendah karena distribusi bahan yang tidak cukup mendukung kunci struktural dengan baik.

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa perbedaan pola isian memiliki dampak besar terhadap kekuatan produk yang dihasilkan oleh printer 3D yang menggunakan filamen Thermoplastic Polyurethane (TPU) 95A.

1. Pola "*Cross*" memberikan struktur yang paling stabil karena pengisiannya dilakukan dalam dua arah, menghasilkan penguncian lapisan material yang lebih efektif dan kekakuan internal yang lebih tinggi.
2. Pola "*Cross 3D*", meskipun memiliki desain yang lebih kompleks dengan pengisian tiga arah, menunjukkan kekerasan yang sedikit lebih rendah daripada "*Cross*". Hal ini kemungkinan disebabkan oleh sedikit variasi dalam distribusi atau celah antar lapisan.
3. Pola "*Concentric*" menunjukkan kekakuan paling rendah karena arah pengisiannya tidak mendukung penguncian lapisan yang baik dan distribusi materialnya kurang efisien untuk memberikan kekakuan struktural yang kuat terhadap tekanan eksternal.
4. *Infill density* memiliki dampak yang signifikan terhadap tingkat kekerasan produk yang dicetak menggunakan printer 3D dengan filamen TPU 95A.
5. Kekerasan yang lebih tinggi pada pola "*Cross*" disebabkan oleh struktur silang dua arah yang menyediakan distribusi material yang lebih stabil dan kekakuan internal yang lebih tinggi, memungkinkan lapisan material saling mengunci secara efektif saat menghadapi tekanan.

Daftar Pustaka

- [1] V. R. Yadavalli, A. K. Myadam, and S. B. Telu, "FDM 3D-Print on Thermoplastic Polyurethane (TPU) with Different Process Parameters Using Gyroid and Zigzag Infill Patterns," *J.* 2024, vol. 11, no. February, p. 11203, 2024, doi: 10.4236/oalib.1111203.
- [2] R. N. A. Santoso, "Pengaruh Parameter 3D Printing Material Filamen Thermoplastic Polyurethane (TPU) Terhadap Kualitas Produk 3D Printing Fused Filament Fabrication (FFF) Studi Kasus Soft Mold Vacuum Infusion Process (VIP)," pp. 40–41, 2022.
- [3] M. C. Iacob, D. Popescu, and F. Baci, "Effect of Process Parameters on the Hardness of 3D-printed Thermoplastic Polyurethane that Includes Foaming Agent," *Mater. Plast.*, vol. 60, no. 4, pp. 144–154, 2023, doi: 10.37358/MP.23.4.5694.
- [4] R. Lesmana, D. Mardiyana, and D. I. Sumarno, "Analysis of the Effect of Print Speed and Layer Height on the Hardness of TPU-95A Filament 3D-Printed Products," *J. Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 10, no. 1, pp. 18–24, 2025, doi: 10.21009/jkem.10.1.2.
- [5] H. J. Qi, K. Joyce, and M. C. Boyce, "Durometer hardness and the stress-strain behavior of elastomeric materials," *Rubber Chem. Technol.*, vol. 76, no. 2, pp. 419–435, 2003, doi: 10.5254/1.3547752.
- [6] S. E. Nace, J. Tiernan, D. Holland, and A. Ni Annaidh, "A comparative analysis of the

- compression characteristics of a thermoplastic polyurethane 3D printed in four infill patterns for comfort applications,” *Rapid Prototyp. J.*, vol. 27, no. 11, pp. 24–36, 2021, doi: 10.1108/RPJ-07-2020-0155.
- [7] Syaeful Arief, “Minimasi Error Pada Mesin 3D Printer Dengan Parameter Mesin,” *Buana Ilmu*, vol. 8, no. 1, pp. 269–282, 2023, doi: 10.36805/bi.v8i1.6022.
- [8] H. Suryanto, R. Wahyuningtyas, Nanang Eko Wanjaya, P. Puspitasari, and S. dan K. B. dari P. S. Sukarni, “Struktur dan Kekerasan Bioplastik dari Pati Singkong,” *SeNTERTek (Seminar Nas. Terap. Teknol. 2016 Politek. Negeri Malang*, no. November, p. 91, 2016.
- [9] R. Darmawan, Nurida Finahari, Akhmad Farid, and Leo Hutri Wicaksono, “Analisis Pengaruh Variasi Infill Pattern terhadap Kekuatan Tarik pada Filamen Polyethylen Therephtalate Glycol Hasil 3D Printer,” *J. Flywheel*, vol. 15, no. 2, pp. 6–10, 2024, doi: 10.36040/flywheel.v15i2.9496.
- [10] C. Pramono, X. Shalahudin, and ikhwan Taufik, “Pengaruh Variasi Infill Pattern terhadap Kuat Tarik dan Kuat Bending Filamen Polylactid Acid pada Hasil Cetak Mesin Ender-3 Pro,” *J. Mech. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 0–000, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal.untidar.ac.id/index.php/mechanical/index>
- [11] 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,” *J. Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 10, no. 1, pp. 53–60, 2025, doi: 10.21009/jkem.10.1.6.
- [12] D. L. Hertz, A. C. Farinella, T. New, and Y. Rubber, “SHORE A DUROMETER AND ENGINEERING Written by,” 1998.