

THE EFFECT OF INFILL PATTERN AND DENSITY PARAMETERS ON TENSILE STRENGTH OF POLYMER MATERIALS IN 3D PRINTING

Sally Cahyati ¹⁾ ✉, Reky Amanda Putra ¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin
Universitas Trisakti
Jalan Kyai Tapa, Grogol
Jakarta Barat, DKI Jakarta, 11450
sally@trisakti.ac.id
rekyamandapr@gmail.com

Abstract

One of the references for selecting materials in designing a machine component is its mechanical property which is tensile strength. However, the current tensile strength from the materials used in 3D printing products has not been standardized due to many parameters in the design and process that affect them. The selection of correct design and process parameters may result in the proper mechanical properties and minimize the time and amount of materials used during the printing process. The parameters expected to affect the mechanical properties are density and infill pattern. This study was conducted to observe how far the effect of them on the mechanical properties of 3D printing product's tensile strength. The specimen standard of tensile strength used was ASTM D638, while the tested infill pattern was Grid, Triangles, and Tri-Hexagon patterns, with the percentage of total infill density of 20%, 40%, and 60%. PLA (Polylactic Acid) was chosen as the material used in this study. The 3D print machine operated was 3D Print MakerGear M2 with the tensile testing machine of HTE Hounsfield. The results of this study concluded that the percentage of infill density 20%, 40%, and 60% with different infill patterns had different tensile strengths. The specimen with a Tri-Hexagon infill pattern and 60% density had the biggest tensile strength value, followed by the Triangles infill pattern and the smallest one was the Grid pattern with 20% density.

Keywords: 3D Printing, Tensile Strength, ASTM D638, Infill Pattern, PLA.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan teknologi industri manufaktur di era industri 4.0 saat ini, berbagai penelitian di seluruh bidang teknologi pendukungnya semakin gencar. Beberapa pilar teknologi yang mendukung kemajuan industri 4.0 saat ini yang sangat pesat perkembangannya yaitu *additive manufacturing, simulation & virtual/augmented reality, horizontal & vertical integration, IIoT, cloud, big data analysis, cyber security, supply chain 4.0, dan autonomous robot* ^[1]. Penelitian dibidang *virtual reality* yang diterapkan dibidang proses manufaktur atau lebih dikenal dengan *virtual manufacturing* juga telah dilakukan dalam desain dan perencanaan proses pembuatan HCP (*Hydroforming Casing Patch*). Penggunaan *virtual manufacturing* ini terbukti dapat mempercepat dan mengurangi tingkat kegagalan dalam proses pembuatan HCP sehingga dapat menghemat jutaan USD dari proses *trial and error* serta resiko kegagalan yang ditimbulkan pada proses pembuatan

Corresponding Author:
✉ Sally Cahyati
Received on: 2021-08-09
Revised on: 2023-09-14
Accepted on: 2023-09-14

konvensional ^[2]. Pada bidang *supply chain* atau rantai pasok, penerapan industri 4.0 di industri manufaktur di Indonesia juga sudah dilakukan pada rantai pasok dan logistik cerdas di salah satu perusahaan *injection mould* ^[3]. *Additive manufacturing* merupakan salah satu pendukung dari industri manufaktur 4.0, mempunyai kemampuan yang dapat menghasilkan produk dengan tingkat kerumitan geometri yang cukup rumit dan dengan proses yang cepat ^[4]. Salah satu metode pada teknologi *additive manufacturing* yang cukup populer saat ini dan sudah banyak diteliti serta diimplementasikan di berbagai bidang yaitu FDM (*Fused Deposition Modeling*) atau lebih dikenal dengan *3D Printing*. Salah satu penelitian *3D Printing* yang sudah dilakukan adalah membangun sistem yang terintegrasi antara CAD dengan mesin *3D Printing* sehingga sistem dapat menggunakan CAD dan mesin *3D Printing* yang dikontrol secara *online* dari jarak jauh dan dikustomisasi oleh penggunaanya ^[5].

Additive Manufacturing adalah proses dari pembuatan produk 3D dengan cara penumpukan penampang 2D lapisan demi lapisan dari suatu desain model digital yang dapat dibuat dari CAD, CT, MRI, dan *laser scanning* ^[6]. *Additive Manufacturing* memiliki beberapa teknik yaitu SLA (*Stereolithography Apparatus*) yang pada dasarnya terdiri dari sinar *ultraviolet* dalam bentuk laser yang mentransfer energi ke material *photopolymer* atau resin cair yang pada prosesnya radikal bebas dilepaskan setelah adanya interaksi antara *photopolymer* atau resin cair dengan sinar UV sehingga resin yang tadinya bersifat cair menjadi padat ^[7], SLS (*Selective Laser Sintering*) yang terdiri dari sinar laser yang menyinter area pada material yang berbahan serbuk polimer, komposit, keramik menjadi benda padat ^[8]. Pada *3D Printing* material termoplastik atau filamen yang dipanaskan hingga menjadi semi-solid dan didepositkan dengan cara lapis demi lapis pada permukaan cetak ^[9]. Sebelum melakukan pencetakan, desain dari produk yang telah dibuat dengan model digital berupa format data **stl* atau **obj* tersebut diproses pada *software slicer* (aplikasi pengiris) untuk diubah menjadi *G Code* yang dapat dibaca oleh mesin 3D Printer sehingga material yang telah dipanaskan dapat terdeposit sesuai dengan desain produk yang telah dibuat, selain itu pada *software slicer* perlu dilakukan pengaturan parameter pencetakan dengan preferensi yang diinginkan agar hasil produk yang dicetak memiliki kualitas yang baik, lalu pada dasarnya penggunaan aplikasi *slicer* yang berbeda akan menyebabkan perbedaan cara mencetak, waktu mencetak, serta hasil produk cetak dari setiap aplikasi *slicer* ^[10]. *Infill* yang mengisi bagian dalam dari suatu produk dapat mempengaruhi waktu pengerjaan, dan mempengaruhi banyaknya jumlah material atau filamen yang terpakai, *infill* merupakan salah satu kustomisasi yang dapat dilakukan dalam membuat suatu produk pada aplikasi *slicer* ^[11]. Pemilihan pola *infill* dan densitas *infill* menyesuaikan dengan penggunaan dari produk tersebut, jika tidak dikenakan beban yang terlalu besar maka tidak perlu menggunakan presentase densitas *infill* yang terlalu banyak agar menghemat material dan waktu pencetakan yang dibutuhkan untuk membuat suatu produk.

Penelitian sebelumnya telah meneliti mengenai pengaruh pola *infill*, densitas *infill*, dan sudut dari *infill* pada waktu cetak dan panjang filamen dengan melakukan *slicing* dan pengaturan parameter kustomisasi menggunakan aplikasi *slicer Repetier-Host* ^[12], orientasi objek pada proses *3D Printing* bahan polimer PLA dan ABS terhadap kekuatan tarik dan ketelitian dimensi produk ^[13], pengaruh parameter suhu ekstrusi dan tinggi lapisan terhadap kekuatan tarik dengan bahan material PETG, ABS, dan multi-material (60% ABS + 40% PETG) pada 3D Printer - FDM [14], uji parameter pengaruh densitas isi terhadap ketelitian dimensi produk ^[9], perbandingan studi pada produk *3D Printing* - FDM dengan menggunakan PLA dan ABS terhadap kekuatan dan dimensi akurasi ^[15], pengaruh arah pencetakan pada produk *3D Printing* dengan material ABS terhadap kekuatan tarik ^[16], pengaruh tipe *infill* dan temperatur nosel terhadap kekuatan tarik produk *3D Printing* filamen PLA ^[17], pengaruh ketebalan lapisan dan sudut raster terhadap kekuatan tarik dan kekuatan lentur pada produk FDM ^[18]. Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, belum dilakukan

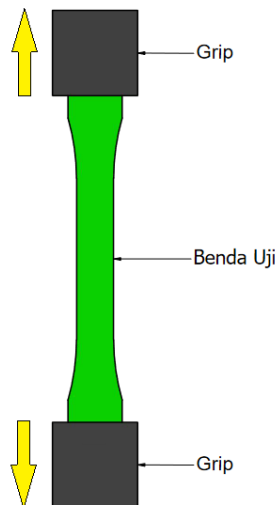
suatu penelitian mengenai pengaruh pola *infill* terhadap kekuatan tarik dari suatu produk 3D *Printing* dengan melakukan *slicing* dan pengaturan parameter kustomisasi dengan menggunakan aplikasi *slicer Cura*.

Penelitian ini membahas mengenai pengaruh dari parameter pola *infill* terhadap kekuatan tarik dari produk 3D *Printing*. Pada penelitian mesin 3D Printer yang digunakan adalah MakeGear M2, aplikasi *slicer* yang digunakan adalah *Cura*, lalu parameter pola *infill* yang digunakan adalah pola dengan bentuk geometri *Grid*, *Triangles*, *Tri-Hexagon* dan jumlah presentase densitas *infill* sebesar 20%, 40%, 60%. Jenis bahan material *filament* yang digunakan adalah PLA (*Polylactic Acid*) yang berbahan dasar dari jagung ataupun material sejenis yang terbarukan^[19], standar uji tarik yang digunakan adalah ASTM D638^[20], alat uji tarik yang digunakan adalah HTE *Hounsfield*. Pencetakan pada benda uji dilakukan sebanyak 5 buah dengan 9 variasi parameter pola *infill* dan densitas *infill*, sehingga total benda uji yang dicetak dan diuji tarik adalah sebanyak 45 buah. Nilai kekuatan tarik dari penelitian ini akan menjadi salah satu acuan dalam memilih parameter pola *infill* dan densitas *infill* yang tepat pada aplikasi *slicer* yang akan digunakan pada produk 3D *Printing* yang membutuhkan sifat mekanis kekuatan tarik dengan daya tahan tinggi.

2. METODE DAN BAHAN

Penelitian ini menggunakan beberapa bahan dan alat yaitu, laptop, aplikasi *slicer Cura*, mesin 3D Printer *Maker Gear M2*, jenis bahan material yang digunakan adalah filamen PLA (*Polylactic Acid*) dengan diameter 1.75 mm, alat uji tarik HTE *Hounsfield*, standar uji tarik yang digunakan adalah ASTM D638.

Proses pengujian kekuatan tarik pada benda uji pada prosesnya yaitu dengan cara memberikan gaya tarik pada spesimen yang dilakukan secara perlahan hingga spesimen tersebut putus. Mesin yang digunakan pada pengujian tarik memiliki spesifikasi *load cell* sebesar 50.000 N, dengan kecepatan pengujian tarik sebesar 5 mm/menit yang mengacu kepada standar ASTM D638^[20]. Skema uji tarik dapat dijelaskan seperti yang terlihat pada Gambar 1.



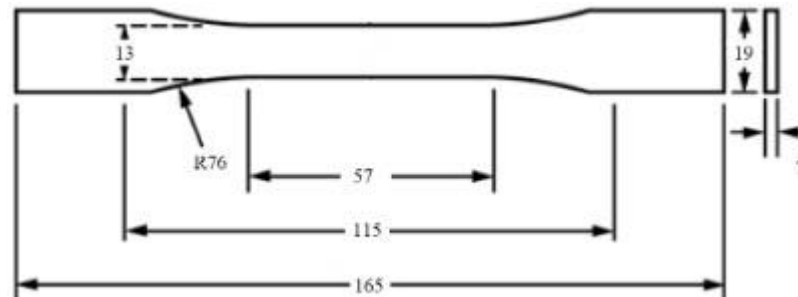
Gambar 1. Skema pengujian tarik

Mesin 3D Print yang digunakan untuk mencetak benda uji untuk melakukan pengujian adalah 3D Print Maker Gear M2 dengan spesifikasi mesin seperti yang terlihat pada Tabel 1.

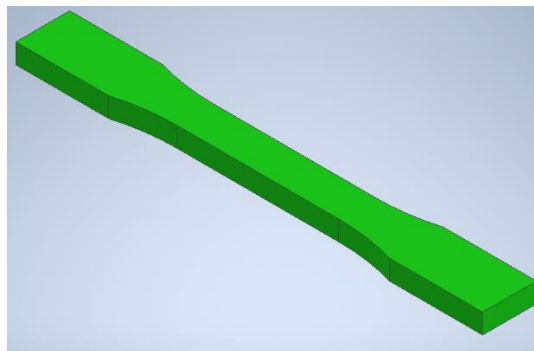
Tabel 1: Spesifikasi mesin 3D Print Maker Gear M2.

NAMA	DIMENSI	SATUAN
Ukuran mesin	610 x 553 x 420	mm
Ukuran <i>Bed</i>	200 x 250 x 200	mm
Suhu <i>Bed</i>	≤ 110	$^{\circ}\text{C}$
Suhu maksimal Ekstruder	≤ 300	$^{\circ}\text{C}$
Diameter <i>Nozzle</i>	0,25 - 0,75	mm
Berat Mesin	12	kg
Daya	12	V
Dimensi rumah <i>nozzle</i>	62 x 52 x 52	mm
Konsumsi daya maksimal	360	W
Suara mesin	65	dBA
Konektivitas	SD card reader, USB	
<i>Filament feed</i>	<i>Direct</i>	
<i>Build plate leveling</i>	<i>4 point leveling</i>	
<i>X/Y Motion</i>	<i>Kevlar reinforced bells</i>	
<i>Z Motion</i>	<i>Lead Screw</i>	
Material	PLA	

Desain model benda uji mengacu kepada standardisasi ASTM D638-Tipe 1 berdasarkan standar internasional ASTM untuk uji kekuatan tarik ^[20]. Desain dan dimensi model benda uji seperti yang terlihat pada Gambar 2.

**Gambar 2.** Geometri dan dimensi benda uji ASTM D638 Tipe I dalam millimeter ^[20].

Sebelum melakukan pencetakan pada 3D Printing perlu membuat model benda uji dalam bentuk 3D model CAD sesuai standardisasi ASTM D638, yang selanjutnya akan dilakukan *slicing* dengan menggunakan *software slicer* yaitu *Cura*. Model CAD benda uji seperti yang terlihat pada Gambar 3.

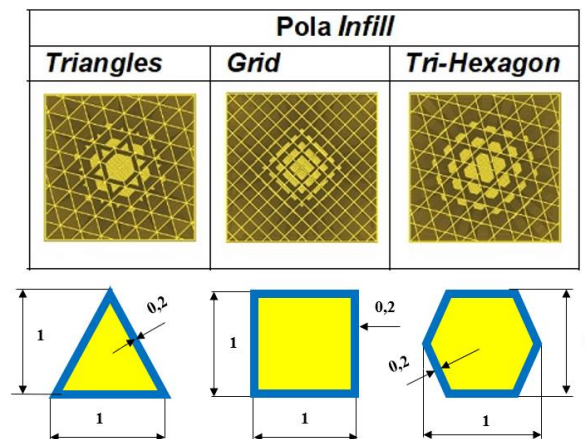
**Gambar 3.** Model benda uji

Pengaturan parameter pencetakan benda uji dilakukan pada aplikasi *slicer cura*, penelitian ini menggunakan parameter tetap seperti yang terlihat pada Tabel 2, lalu dengan parameter pola *infill Triangles, Grid, Tri-Hexagon*.

Tabel 2: Parameter tetap pada pencetakan benda uji.

Parameter	Nilai	Satuan
Suhu ekstruder	200	°C
Suhu bed	50	°C
Diameter nozzle	0,4	mm
Kecepatan pencetakan	40	mm
Tinggi lapisan	0,2	mm/s
Ketebalan dinding	0,8	mm
Ketebalan bagian bawah dan atas	0,8	mm
<i>Build plate adhesion</i>	<i>none</i>	

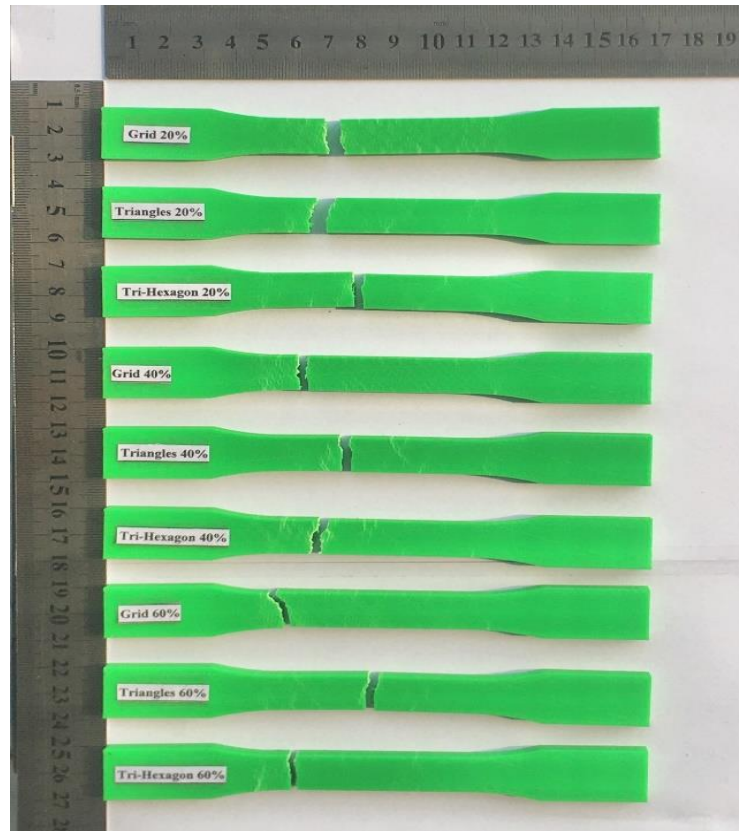
Ukuran dari pola *infill Triangles, Grid* dan *Hexagon* pada densitas 60% mempunyai rongga dengan masing-masing sisi 1 mm dan ketebalan rangkanya 0,2 mm seperti yang terlihat pada Gambar 4. Ukuran dari pola *infill* pada densitas dengan densitas 40% dan 20% membesar secara proporsional dan diatur oleh program *slicer*-nya. Kombinasi pola *infill* dan densitas *infill* didapatkan 9 variasi spesimen benda uji, setiap variasi akan dicetak sebanyak 5 buah, sehingga total benda uji tarik adalah 45 buah



Gambar 4. Geometri pola infill pada densitas 60%.

3. HASIL DAN DISKUSI

Pengujian uji tarik pada benda uji dilakukan dengan kecepatan sebesar 5 mm/menit yang mengacu kepada standar ASTM D3638 [20]. Seperti yang terlihat pada Gambar 5 semua variasi sampel benda uji tarik menunjukkan pola patahan dengan jenis patah getas (*Brittle Fracture*) karena seperti yang terlihat benda uji tidak mengalami deformasi plastis sebelum mengalami patah. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [21].



Gambar 5. Hasil uji tarik benda uji.

Pengujian tarik pada spesimen benda uji menggunakan mesin uji tarik hanya didapatkan data berupa gaya yang diberikan oleh mesin sampai spesimen benda uji tarik mengalami patah, lalu gaya yang dihasilkan tersebut dibagi dengan luas penampang dari benda uji ^[22], maka dari itu perlu dilakukan pengolahan data dan perhitungan terlebih dahulu untuk mendapatkan kekuatan tarik, dengan rumus:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Dimana:

σ = Kekuatan tarik (MPa)

F = Gaya yang bekerja (N)

A = Luas penampang benda uji (mm)

Oleh karena itu untuk mendapatkan kekuatan tarik dari spesimen benda uji, dari data yang telah didapat pada saat uji tarik dibagi dengan luas penampang dari spesimen benda uji tersebut. Dengan mengacu pada standar ASTM D638, menggunakan rumus yaitu:

$$A = W \cdot T \quad (2)$$

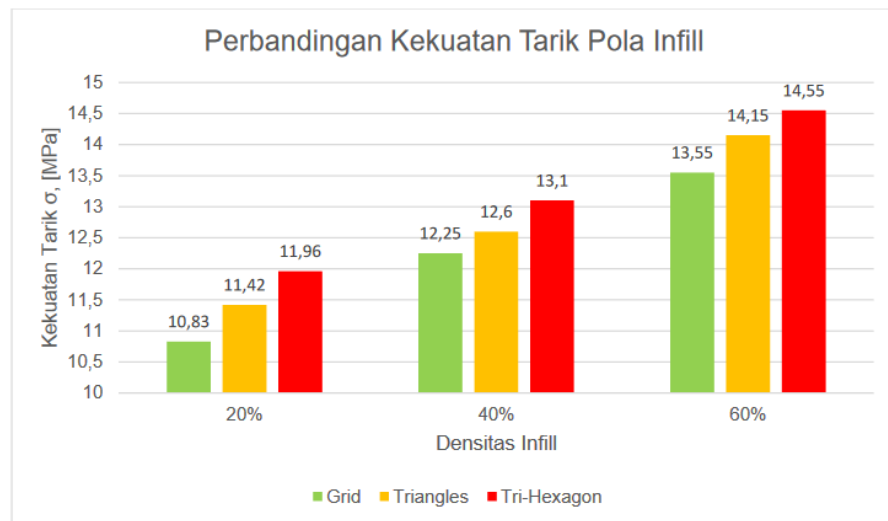
Dimana:

A = Luas penampang benda uji (mm)

W = Lebar bagian sempit benda uji (mm)

T = Ketebalan benda uji (mm)

Setelah dilakukan pengujian tarik pada benda uji dan dilakukan perhitungan untuk, hasil data pengujian tarik tersebut diolah menjadi grafik, sehingga dapat dilakukan analisa dan dapat dibandingkan pengaruh setiap masing-masing variasi benda uji dari benda uji tersebut dengan kombinasi pola *infill* dan densitas *infill* yang berbeda terhadap kekuatan tarik. Analisa hasil uji tarik seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 6. Grafik perbandingan kekuatan tarik densitas *infill* 20%.

Seperti yang terlihat pada Gambar 6 pola *infill Tri-Hexagon* adalah pola *infill* yang memiliki kekuatan tarik paling tinggi walaupun menggunakan jumlah densitas *infill* yang berbeda dibandingkan dengan jenis pola *infill* yang lain yaitu pola *infill Triangles* dan pola *infill Grid*, hal tersebut dapat terjadi karena dengan pola *infill Tri-Hexagon* memiliki jalur atau lapisan persilangan yang lebih maksimum dibandingkan dengan jenis pola *infill* lainnya yang memiliki garis jalur atau persilangan yang sangat minimum sehingga ikatan antar lapisan dengan lapisan yang lainnya menjadi lemah. Pada jumlah presentase densitas *infill* juga berpengaruh terhadap kekuatan tarik dari benda uji, semakin meningkatnya jumlah presentase densitas *infill* maka semakin kuat kekuatan tarik dari benda uji, hal tersebut dapat terjadi karena dengan jumlah presentase densitas *infill* yang lebih tinggi maka tingkat kepadatan *infill* yang dihasilkan menjadi lebih tinggi sehingga rongga *infill* dari benda uji menjadi lebih rendah yang menyebabkan ikatan antar lapisan menjadi lebih kuat sebagaimana juga beberapa penelitian telah melaporkan hal serupa pada pola *infill* yang lainnya ^{[23]-[26]}.

4. KESIMPULAN

Penggunaan pola *infill* yang berbeda memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik dari produk yang akan dicetak oleh mesin 3D *Printing*, parameter pola *infill Tri-Hexagon*

merupakan kekuatan tarik yang paling kuat yaitu sebesar 11,96 MPa pada densitas *infill* 20%, sebesar 11,96 MPa, pada densitas *infill* 40% sebesar 13,1 MPa, pada densitas *infill* 60% sebesar 14,55 MPa. Sehingga dapat dipahami bahwa pola *infill Tri-Hexagon* tetap merupakan pola *infill* yang paling kuat walaupun menggunakan jumlah presentase densitas *infill* yang berbeda. Semakin tinggi % densitas dari suatu produk *3D Printing* juga semakin tinggi kekuatannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Cahyati, Syaifudin, and Achdianto, "A prototyping of additive manufacturing cell in cyber physical system for maintenance 4.0 preparation," *Int. J. Adv. Sci. Technol.*, vol. 29, no. 5, pp. 575–584, 2019.
- [2] S. Cahyati, D. P. B. Aji, and D. Suherman, "Design and process plan of hydroforming casing patch using virtual manufacturing method," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2227, no. May, 2020, doi: 10.1063/5.0001054.
- [3] Hendri and S. Cahyati, "Usulan penerapan Industri 4.0 untuk rantai pasok dan logistik cerdas di perusahaan *injection moulding*," vol. 13, no. 2, pp. 223–231, 2021.
- [4] S. Cahyati, B. Satriawan, J. Teknik, M. Fakultas, T. Industri, and U. Trisakti, "Ketelitian Dimensi Produk Hasil Proses Modifikasi Mesin Fdm *Dual Extruder*," *Semin. Nas. Pakar ke 2*, pp. 1–7, 2019.
- [5] Achdianto, S. Cahyati, Triyono, and Saifudin, "Integrated CAD customization system for fused deposition models in additive manufacture with 3D printing machine," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 694, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/694/1/012008.
- [6] L. Yang *et al.*, *Electron Beam Technology*. 2017.
- [7] A. A. Konta, M. Garcia-Pina, and D. R. Serrano, "Personalised 3D printed medicines: Which techniques and polymers are more successful?," *Bioengineering*, vol. 4, no. 4, 2017, doi: 10.3390/bioengineering4040079.
- [8] K. Deshmukh, A. Muzaffar, T. Kovarik, T. Krenek, M. B. Ahamed, and S. K. K. Pasha, "Fundamentals and applications of 3D and 4D printing of polymers: Challenges in polymer processing and prospects of future research," in *3D and 4D Printing of Polymer Nanocomposite Materials: Processes, Applications, and Challenges*, 2019, pp. 527–560.
- [9] R. Gunawan, "Pengaruh Densitas Isi terhadap Ketelitian Dimensi pada Produk Mesin 3D Printing," *Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 15–19, 2020, doi: 10.25105/ms.v11i1.7438.
- [10] M. Sljivic, A. Pavlovic, M. Krajsnik, and J. Ilic, "Comparing the accuracy of 3D slicer software in printed enduse parts," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 659, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/659/1/012082.
- [11] H. K. Dave, N. H. Patadiya, A. R. Prajapati, and S. R. Rajpurohit, "Effect of infill pattern and infill density at varying part orientation on tensile properties of fused deposition modeling-printed poly-lactic acid part," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–17, 2019, doi: 10.1177/0954406219856383.
- [12] J. Suteja, "Effect of Infill Pattern, Infill Density, and Infill Angle on the Printing Time and Filament Length of 3D Printing," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 1, p. 145, 2021, doi: 10.21776/ub.jrm.2021.012.01.16.

- [13] S. Lubis, S. Djamil, and Y. Yolanda, "Pengaruh Orientasi Objek Pada Proses 3D Printing Bahan Polymer Pla Dan Abs Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketelitian Dimensi Produk," *Sinergi*, vol. 20, no. 1, p. 27, 2016, doi: 10.22441/sinergi.2016.1.005.
- [14] D. Yadav, D. Chhabra, R. K. Gupta, A. Phogat, and A. Ahlawat, "Modeling and analysis of significant process parameters of FDM 3D printer using ANFIS," *Mater. Today Proc.*, vol. 21, no. xxxx, pp. 1592–1604, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2019.11.227.
- [15] Y. Y. Tanoto, J. Anggono, W. Budiman, and K. V. Philbert, "Strength and Dimension Accuracy in Fused Deposition Modeling: A Comparative Study on Parts Making Using ABS and PLA Polymers," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 69–76, 2020, doi: 10.21776/ub.jrm.2020.011.01.8.
- [16] N. Markiz, E. Horvath, and P. Ficzer, "Influence of printing direction on 3D printed ABS specimens," *Prod. Eng. Arch.*, vol. 26, no. 3, pp. 127–130, 2020, doi: 10.30657/pea.2020.26.24.
- [17] Z. S. Suzen, "Pengaruh Tipe Infill dan Temperatur Nozzle terhadap Kekuatan Tarik Produk 3D Printing Filamen Pla+ Esun," *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 12, no. 02, pp. 73–80, 2020.
- [18] Z. Abdullah *et al.*, "The effect of layer thickness and raster angles on tensile strength and flexural strength for fused deposition modeling (FDM) parts," *J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 12, no. Specialissue4, pp. 147–158, 2018.
- [19] J. Horvath, "Mastering 3D Printing. Modeling, printing and prototyping with rewrap-style 3D printers.," p. 196, 2014, [Online]. Available: <http://www.globalview.gr/2016/06/30/62949/>.
- [20] ASTM D638-14, "Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens," *ASTM Int.*, vol. 82, no. C, pp. 1–15, 2016, doi: 10.1520/D0638-14.1.
- [21] B. Banjanin *et al.*, "Consistency analysis of mechanical properties of elements produced by FDM additive manufacturing technology," *Rev. Mater.*, vol. 23, no. 4, 2018, doi: 10.1590/s1517-707620180004.0584.
- [22] A. Setiawan, "Pengaruh Parameter Proses Ekstrusi 3D Printer Terhadap Sifat Mekanis Cetak Komponen Berbahan Filament PLA (Poly Lactide Acid)," *J. Tek. STTKD. ISSN 2460-1608*, vol. 4, no. 2, pp. 20–27, 2017.
- [23] M. Fernandez-Vicente, W. Calle, S. Ferrandiz, and A. Conejero, "Effect of Infill Parameters on Tensile Mechanical Behavior in Desktop 3D Printing," *3D Print. Addit. Manuf.*, vol. 3, no. 3, pp. 183–192, 2016, doi: 10.1089/3dp.2015.0036.
- [24] M. R. Derise and A. Zulkharnain, "Effect of infill pattern and density on tensile properties of 3d printed polylactic acid parts via fused deposition modeling (FDM)," *Int. J. Mech. Mechatronics Eng.*, vol. 20, no. 2, pp. 54–63, 2020.
- [25] V. S. Jatti, S. V. Jatti, A. P. Patel, and V. S. Jatti, "A study on effect of fused deposition modeling process parameters on mechanical properties," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 8, no. 11, pp. 689–693, 2019.
- [26] M. Eryildiz, "The Effects of Infill Patterns on The Mechanical Properties of 3D Printed PLA Parts Fabricated by FDM," vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2021.