

Pengaruh *Infill Type* Hasil Cetak 3D Printer Terhadap Sifat Mekanik Material Berbahan *Polylactic Acid (PLA)*

Agris Setiawan^{1*}, Intan Maharani² & Dyah Probowati³

^{1,2,3}: Teknik Metalurgi, Teknik Pertambangan, Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta
Telp . (0274) 486733

*Email: agrissetiawan@upnyk.ac.id

ABSTRACT

The development of a quality product to get good results requires a technology, one of which is the use of 3D printing machines. One type of material that is most often used in the 3D Printer process is Polylactic acid (PLA). The results of the 3D Print must be carried out several tests, such as tensile, shrinkage, and flexural tests to find out how strong the specimen is to withstand the load that will be given. One of the factors that affect the tensile, shrinkage and flexural test results of the 3D Printer is the type of filler (pattern). Therefore, in this study, 3 types of tests will be carried out on variations in the infill type, namely triangle, concentric and gyroid. Specimen design was made using Autodesk Inventor software with reference to the standard dimensions of ASTM D638 Type IV for tensile testing of specimens and standard dimensions of ASTM D790 for flexural tests of specimens. Samples are characterized by using specimen code A, specimen B and specimen C. For example, specimen code A is the code for specimens with an infill gyroid, specimen B is a code for specimens with a concentric infill type and specimen code C is a code for specimens with an infill triangle type. Results Based on the shrinkage measurements on the tensile test specimen and the flexural test specimen, it was found that specimen C had a fairly large shrinkage value compared to other specimens, namely $2.21 \pm 0.97\%$ and $2 \pm 0.21\%$. The results of the tensile test also showed that specimen C had a higher ultimate tensile strength than the other specimens, which was 39.23 ± 0.93 MPa. Based on the results of the flexural test that has been carried out, it can be seen that the highest flexural strength value is found in specimen C, which is 48.69 ± 3.17 MPa. While the results of the porosity of the specimen showed that specimen C had a smaller porosity than the porosity of other specimens. Based on the 3 types of specimen variations, it can be said that specimen C has better strength and resistance values than other specimens.

Keywords: 3D Printer, Polylactic Acid (PLA), Infill Type

PENDAHULUAN

Teknologi sangat dibutuhkan dalam pengembangan suatu produk untuk mendapatkan hasil yang berkualitas. Salah satu teknologi yang digunakan di dunia industri pada saat ini adalah penggunaan teknologi *3D printer*, Pencetakan 3D telah muncul sebagai pendekatan yang memungkinkan di berbagai bidang yang berbeda[1][2]. Prinsip kerja mesin *3D printer* adalah menggunakan metode penambahan bahan dalam pembuatan produk yang sering disebut dengan proses *Additive Manufacturing*, yang mana proses ini sudah banyak diterapkan diberbagai industri, seperti konstruksi dan kesehatan [3][4][5]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa teknologi *Additive Manufacturing* memiliki potensi manfaat yang besar [6][7] diantaranya berkurangnya biaya *tooling*, mengurangi limbah mesin dan mengurangi dampak kerusakan lingkungan [8][9]. Produk hasil *3D printer* ini juga membutuhkan biaya yang lebih rendah, mudah dibuat dan dapat menggantikan suku cadang logam. *Airbus*, misalnya, memproduksi lebih dari 1,000 komponen menggunakan proses *Fused Deposition Modeling (FDM)* berbahan resin ULTEM™ 9085 yang terpasang di pesawat pada 350 XWB karena memiliki keunggulan dalam akurasi dimensi dan stabilitas material. Alat medis seperti *Intra-Uterine Device (IUD)* juga dibuat menggunakan mesin *3D printer FDM* [10]. Salah satu jenis material yang digunakan pada proses *3D Printer* adalah material *Polylactic acid* atau *polylactide (PLA)* [11][12]. PLA merupakan filament plastik yang

bersifat *biodegradable*, yaitu dapat terurai lebih cepat dalam lingkungan dibandingkan dengan plastik lainnya sehingga dapat dikatakan lebih ramah lingkungan [13] serta partikel dari beberapa model leburan printer 3D dihitung secara sistematis menggunakan protokol pengujian emisi yang ditetapkan (*Bliue Angel*) untuk memungkinkan penilaian eksposur kuantitatif untuk printer yang beroperasi di area yang berbeda [14][15].

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan acuan alternatif terkait pengaruh parameter proses penggunaan *3D printer* dengan bahan filamen PLA terhadap sifat mekanis hasil cetak komponen/produk. Parameter proses yang digunakan yaitu *infill type* dengan 3 jenis pola yaitu *triangle*, *concentric* dan *gyroid*. Pengujian mekanis yang dilakukan yaitu *tensile test*, *flexural test* serta menghitung *shrinkage*. Data nilai *tensile strength*, *flexural strength* dan *shrinkage* dibandingkan untuk mengetahui pola/*pattern infill type* yang mempunyai nilai *tensile strength*, *flexural strength* dan *shrinkage* tertinggi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pirometalurgi UPN “Veteran” Yogyakarta dan Laboratorium Mekanika Bahan Universitas Negeri Yogyakarta dengan bahan dasar adalah *filament PLA Esun* dan beberapa alat yang digunakan diantaranya mesin *3D printer Ender-3-Max*, jangka sorong digital, laptop yang telah memuat *software Autodesk Inventor*, *Slic3r* dan *ImageJ*, alat pengujian tarik dan *flexural Tensilon RTF-2350*, serta alat makrostruktur *Insize Digital Microscope with Stand and ISM-PRO Software*.

Design spesimen dibuat dengan menggunakan *software Autodesk Inventor*. Pola spesimen pengujian tarik disesuaikan dengan standar dimensi ASTM D638 Type IV dan untuk pola spesimen pengujian *flexural* disesuaikan dengan standar dimensi ASTM D790. Setelah pemodelan menggunakan *software inventor*, hasil *design* tersebut dipindahkan ke *software Slic3r* dan format *filenya* diubah menjadi *file (.stl)* yang selanjutnya dilakukan pengaturan mengenai pencetakan, seperti parameter prosesnya. Kemudian, *file* yang telah diatur parameternya tersebut diubah ke bentuk (*gcode*) dan dipindahkan kedalam *memory card*, sehingga *file* tersebut siap untuk digunakan dengan mesin *3D Printer*. Parameter operasi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Parameter Operasi Mesin *3D Printer*

<i>Infill Type</i>	<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	<i>Layer Height</i> (mm)	<i>Infill Density</i> (%)	<i>Print Speed</i> (mm/s)	<i>Travel Speed</i> (mm/s)	<i>Diameter Nozzle</i> (mm)
A	220	0.3	80	80	100	0.4
B	220	0.3	80	80	100	0.4
C	220	0.3	80	80	100	0.4

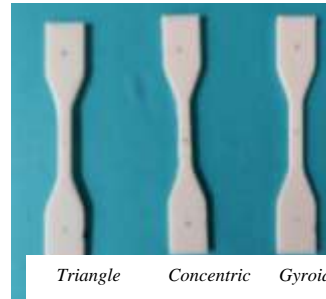
Agar memudahkan proses identifikasi, sampel diberi ciri menggunakan kode spesimen A, spesimen B dan spesimen C. Sebagai contoh, kode spesimen A merupakan kode untuk spesimen dengan *infill type gyroid*, kode spesimen B merupakan kode untuk spesimen dengan *infill type concentric* dan kode spesimen C merupakan kode untuk spesimen dengan *infill type triangle*.

a. Pengukuran *Shrinkage*

Pengukuran *shrinkage* dilakukan untuk mengukur perubahan volume yang terjadi pada spesimen hasil cetak *3D printer*. Pengukuran dilakukan di 3 titik pada setiap panjang, lebar dan tinggi spesimen, kemudian hasil pengukuran dari ketiga titik tersebut dirata-ratakan dan dilihat *infill type* yang memiliki perubahan dimensi paling besar. Pengukuran *shrinkage* dilakukan pada saat setelah dilakukan pencetakan dan 2 jam setelah pencetakan dengan menggunakan jangka sorong digital.

b. *Tensile Test*

Pengujian tarik (*tensile test*) ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan material dalam menahan beban yang diberikan secara terus menerus sampai material tersebut putus. Standar yang digunakan oleh spesimen pada pengujian ini adalah ASTM D638 *Type IV*, dengan contoh spesimen seperti pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Spesimen *Tensile Test*

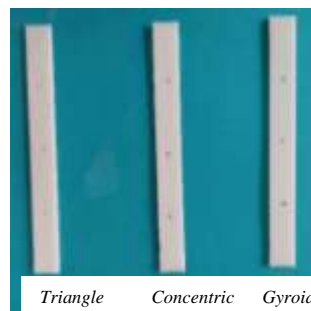
Pengujian tarik ini menggunakan alat *Tensilon RTF-2350* dengan nominal ketebalan spesimen ± 3.8 mm dan *speed of testing* sebesar 5mm/min. Alat ini memiliki kapasitas jangkauan mulai dari 1 kN hingga 300kN. Untuk menghitung nilai tegangan pada material juga dapat menggunakan persamaan 1 berikut.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

Keterangan : σ = Tegangan (MPa), F = Beban (N), A_0 = Luas Permukaan (mm^2)

c. *Flexural Strength*

Pengujian flexural ini dilakukan untuk menentukan tegangan geser dari material menggunakan alat *Tensilon RTF-2350* dengan ketebalan spesimen ± 3.2 mm dan *span-to-depth ratio* lebih dari 16:1 (± 51.2 mm). Standar yang digunakan oleh spesimen pada pengujian ini adalah ASTM D638 *Type IV*, dengan contoh spesimen seperti pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Spesimen *Flexural Test*

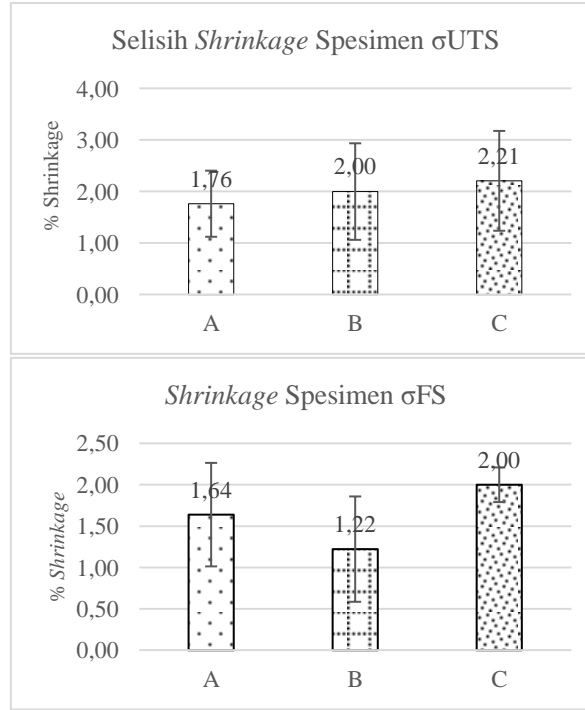
d. Pengujian Makrostruktur

Pengujian makrostruktur ini dilakukan untuk mengetahui ikatan yang telah terbentuk pada spesimen. Pengujian ini menggunakan alat *Insize Digital Microscope with Stand and ISM-PRO Software* dengan perbesaran 150x, 200x dan 220x.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengukuran *Shrinkage*

Hasil pengukuran *shrinkage* pada spesimen uji tarik dan uji *flexural* dengan berbagai *infill type* dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



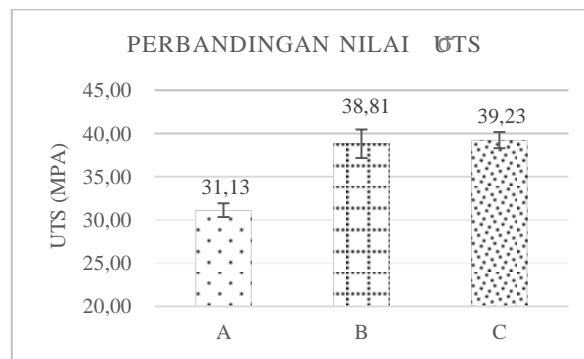
Gambar 3. Perbandingan *Shrinkage* pada Spesimen Uji Tarik dan Uji *Flexural*

Berdasarkan hasil pengukuran *shrinkage* pada spesimen *tensile test* (ASTM D638 *type IV*) pada Gambar 3 terlihat bahwa spesimen C memiliki persentase *shrinkage* yang cukup besar dibandingkan dengan spesimen spesimen lainnya, yaitu sebesar $2.21 \pm 0.97\%$, sedangkan spesimen A sebesar $1.76 \pm 0.64\%$, kemudian spesimen B sebesar $2 \pm 0.94\%$. Ketika proses pencetakan spesimen, ruang antar batas butir pada spesimen tersebut akan mengalami pengecilan ruang dan seiring bertambahnya waktu pendinginan, penyusutan (*shrinkage*) pada spesimen tersebut akan semakin besar yang menyebabkan ikatan antar filament menjadi semakin padat dan kuat, hal ini lah yang menyebabkan tingginya persentase *shrinkage* yang terjadi pada spesimen C.

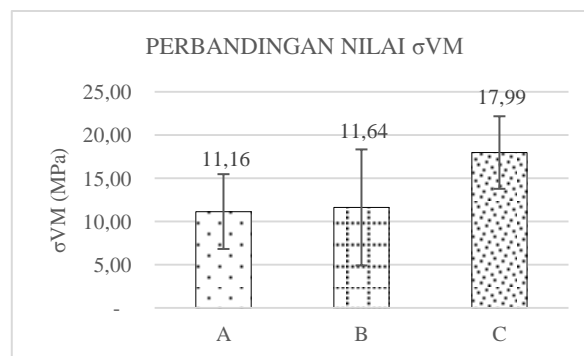
Berdasarkan hasil pengukuran *shrinkage* pada spesimen *flexural test* (ASTM D790) pada Gambar 3 terlihat bahwa spesimen C juga memiliki persentase *shrinkage* yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen lainnya, yaitu sebesar $2 \pm 0.21\%$, sedangkan spesimen A sebesar $1.64 \pm 0.63\%$ dan spesimen B sebesar $1.22 \pm 0.64\%$. Hasil *shrinkage* spesimen *flexural test* pada spesimen C sejalan dengan spesimen *tensile test*, sehingga spesimen C pada pengujian ini memiliki kepadatan filament yang cukup baik.

b. *Ultimate Tensile Strength*

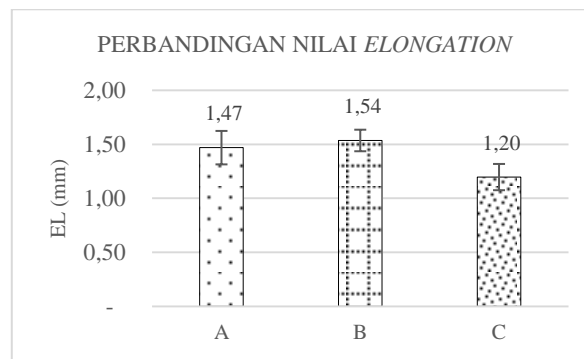
Hasil nilai *ultimate tensile strength* (σ_{UTS}) pada tiap *infill type* dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.

Gambar 4. Perbandingan Nilai Rata-Rata σ_{UTS} Spesimen

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh pada pengujian tarik (Gambar 4) diketahui bahwa spesimen C memiliki nilai *ultimate tensile strength* yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen lainnya, yaitu sebesar 39.23 ± 0.93 MPa, sedangkan spesimen A sebesar 31.13 ± 0.80 MPa dan spesimen B 38.81 ± 1.65 MPa. Besarnya nilai *ultimate tensile test* ini juga dapat dihitung secara manual menggunakan rumus pada persamaan 1. Besarnya nilai tegangan (σ_{UTS}) pada spesimen C ini dapat disebabkan karena besarnya *shrinkage* (penyusutan) yang terjadi pada spesimen tersebut. Proses pemadatan pada spesimen ini akan menyebabkan ikatan filament yang terdapat pada spesimen tersebut semakin kuat dan erat, sehingga beban yang diberikan dan nilai tegangan pada spesimen ini juga akan semakin besar. Selain itu, struktur geometri pengisi bentuk segitiga akan menyebarkan gaya tarik yang dialami spesimen uji. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Asmar Finali, 2021, pada jurnal yang berjudul *Analysis of 3D Printing Pattern Variation on Tensile Strength*, bahan yang struktur beraturan (segitiga sama sisi) akan menghasilkan tingkat penyebaran gaya yang lebih tinggi di antara lapisan.

Gambar 5. Perbandingan Nilai Rata-Rata $\sigma_{Von Mises}$ Spesimen

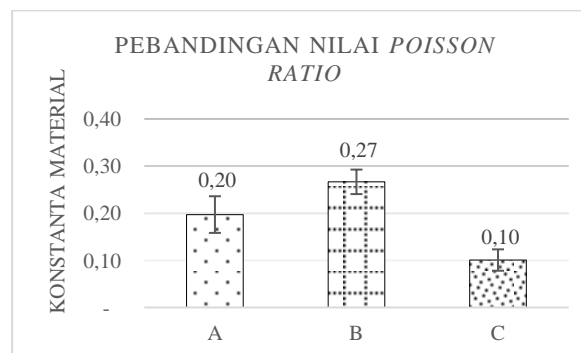
Nilai *von mises* merupakan tegangan minium yang dimiliki oleh material pada saat material itu berdeformasi. Nilai *von mises* tertinggi (Gambar 5) terdapat pada spesimen C, yaitu sebesar 17.99 ± 4.20 MPa, sedangkan untuk spesimen A sebesar 11.16 ± 4.33 MPa dan spesimen B sebesar 11.64 ± 6.71 MPa.



Gambar 6. Perbandingan Nilai Regangan (ϵ) dan *Poisson Ratio* Tiap Spesimen

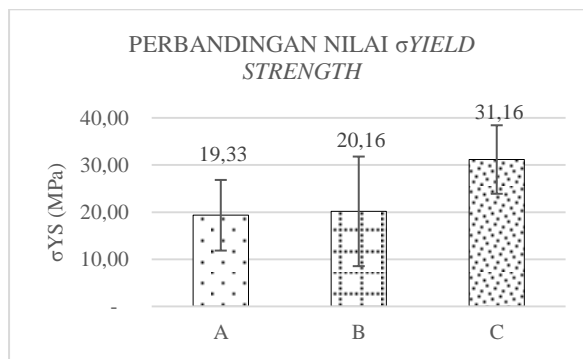
Besarnya nilai tegangan (σ_{UTS}) yang terdapat pada spesimen C juga berhubungan dengan nilai elongationnya. Berdasarkan hasil elongation pada pengujian tarik yang dapat dilihat pada Gambar 6, terlihat bahwa spesimen C memiliki nilai elongation yang lebih rendah dibandingkan dengan spesimen lainnya, yaitu sebesar 1.20 ± 0.12 mm, sedangkan untuk spesimen A sebesar 1.47 ± 0.15 mm dan spesimen B sebesar 1.54 ± 0.10 mm. Spesimen C yang memiliki nilai elongation yang rendah menandakan bahwa spesimen tersebut memiliki sifat brittle dibandingkan spesimen A dan spesimen B.

Selain nilai *elongation* (EL), nilai *poisson ratio* juga mempengaruhi sifat mekanis dari suatu material. Menurut buku *Materials Science And Engineering* oleh William D. Callister tahun 2013, *Poisson ratio* merupakan rasio perbandingan antara penyempitan material terhadap pertambahan panjang akibat adanya tarikan.



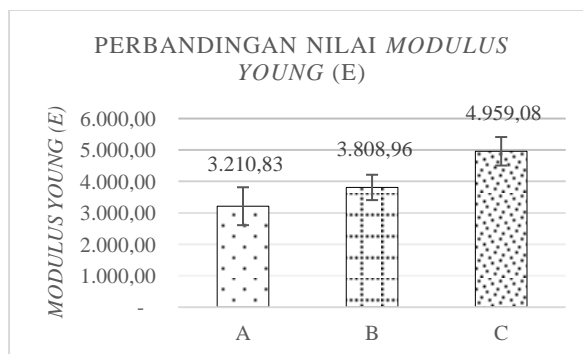
Gambar 7. Perbandingan Nilai Rata-Rata *Poisson Ratio* Spesimen

Nilai *poisson ratio* dapat dilihat pada Gambar 7, spesimen C memiliki nilai *poisson ratio*, sebesar 0.10 ± 0.27 , sedangkan spesimen A sebesar 0.20 ± 0.14 , dan spesimen B memiliki nilai sebesar 0.27 ± 0.25 . *Poisson Ratio* menggambarkan pertambahan panjang pada suatu material akibat perlakuan mekanis. Pada spesimen B dan spesimen C terjadi penurunan nilai *poisson ratio*, hal ini dapat dipengaruhi oleh *elongation* pada spesimen, penurunan nilai *poisson ratio* ini dapat menggambarkan bahwa spesimen C bersifat *brittle*.

Gambar 8. Perbandingan Nilai Rata-Rata σ_{Yield} Spesimen

Pada kurva tegangan-regangan juga ditemukan istilah *yield strength*, yaitu tegangan minimum yang dimiliki oleh material ketika kehilangan sifat elastisitasnya. Berdasarkan nilai *yield strength* pada pengujian tarik yang telah dilakukan (Gambar 8) didapatkan bahwa nilai *yield strength* tertinggi terdapat pada spesimen C, yaitu sebesar 31.16 ± 7.27 MPa, sedangkan untuk spesimen A memiliki nilai *yield strength* sebesar 19.33 ± 7.49 MPa dan spesimen B sebesar 20.16 ± 11.63 MPa. Semakin tinggi nilai *yield strength* maka akan semakin baik kekuatan suatu bahan untuk menahan beban yang diberikan sebelum bahan tersebut berdeformasi.

Nilai *modulus young* (E) yang tertinggi pada penelitian ini (Gambar 9) terdapat pada spesimen C, yaitu sebesar $4.959.08 \pm 453.97$, sedangkan nilai *modulus young* dengan spesimen A memiliki nilai sebesar $3.210.83 \pm 603.21$ dan spesimen B sebesar $3.808.96 \pm 403.49$. Menurut Arif Imbang, 2017 dalam jurnalnya yang berjudul Analisis Pengaruh Internal Geometri Terhadap Sifat Mekanik Material *Polylactic Acid* (PLA) Dipreparasi Menggunakan 3D Printing menyatakan bahwa semakin besar nilai *modulus* suatu bahan, maka akan semakin kecil regangan elastik yang dihasilkan akibat pemberian tegangan. Hasil eksperimen serupa juga diamati oleh Lubombo et al (2018) pada jurnal yang berjudul *Effect of Infill Patterns on the Mechanical Performance of Lightweight 3D-Printed Cellular PLA Parts* dalam perspektif modulus elastisitas, *infill type triangle* pada PLA memiliki modulus Young yang lebih tinggi daripada *infill type heksagonal* pada kepadatan pengisi tertentu.



Gambar 9. Perbandingan Nilai Rata-Rata Modulus Young Spesimen

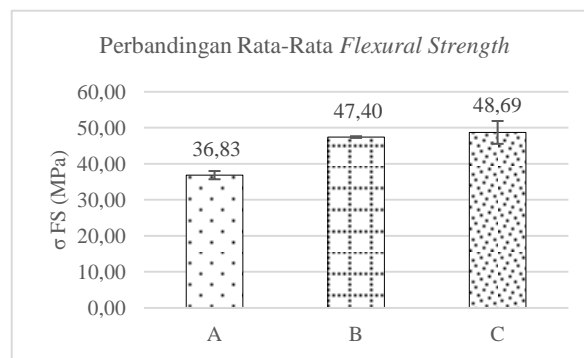
c. Flexural Test

Tabel 2 menampilkan data perbandingan nilai *flexural strength* (σ_{FS}) berdasarkan *infill type* dari setiap sampel. Berdasarkan hasil pengujian *flexural* yang telah dilakukan, terlihat bahwa nilai kekuatan *flexural* tertinggi terdapat pada spesimen C, yaitu sebesar 48.69 ± 3.17 MPa, sedangkan untuk spesimen A sebesar 36.83 ± 1.14 MPa dan spesimen B sebesar 47.40 ± 0.23 MPa.

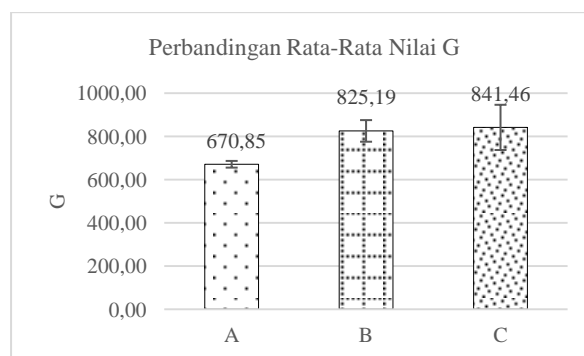
Tabel 2. *Maximum Point Stress of Flexural Test*

<i>Specimens</i>	<i>Max Point Stress of Flexural Test</i> (N/mm^2)	<i>Deviation Standard</i>
A	36.83	1.14
B	47.40	0.23
C	48.69	3.17

Gambar 10 menampilkan data perbandingan spesimen berdasarkan *infill type* dari setiap sampel. Berdasarkan hasil pengujian *bending* yang telah dilakukan, terlihat bahwa nilai *flexural strength* tertinggi terdapat pada spesimen C, yaitu sebesar 48.69 ± 3.17 MPa, sedangkan untuk spesimen A sebesar 36.83 ± 1.14 MPa dan spesimen B sebesar 47.40 ± 0.23 MPa.

Gambar 10. Perbandingan Nilai Rata-Rata σ Flexural Strength

Selain itu, untuk nilai *shear modulus* pada *flexural test* yang ditunjukkan oleh Gambar 11. Terlihat bahwa spesimen C juga memiliki nilai *shear modulus* yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen lainnya, yaitu sebesar 841.46 ± 104.62 , sedangkan spesimen A sebesar 670.85 ± 15.53 dan spesimen B sebesar 825.19 ± 49.98 .



Gambar 11. Perbandingan Nilai Rata-Rata Shear Modulus Spesimen

Tingginya nilai σ FS dan *shear modulus* ini sejalan dengan tingginya nilai σ UTS dan *shrinkage* yang dihasilkan oleh spesimen C, sehingga spesimen C memiliki nilai σ FS dan σ UTS yang lebih baik dibandingkan dengan spesimen lainnya.

d. Pengujian Makrostruktur

Gambar hasil pengujian makrostruktur pada tiap spesimen dengan *infill type* yang berbeda

dapat dilihat pada Gambar 12, 13 dan 14 berikut.



Gambar 12. Hasil Pengujian Makrostruktur pada Perbesaran 150x
(a) *Gyroid*, (b) *Concentric*, (c) *Triangle*



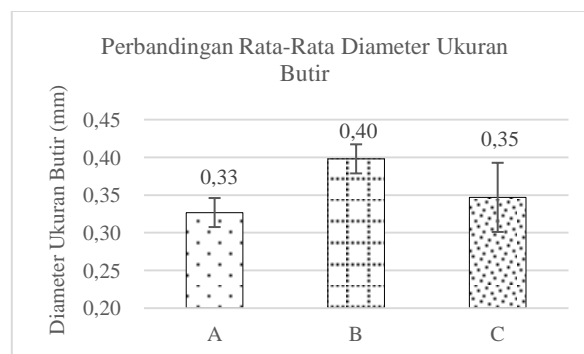
Gambar 13. Hasil Pengujian Makrostruktur pada Perbesaran 200x
(a) *Gyroid*, (b) *Concentric*, (c) *Triangle*



Gambar 14. Hasil Pengujian Makrostruktur pada Perbesaran 220x
(a) *Gyroid*, (b) *Concentric*, (c) *Triangle*

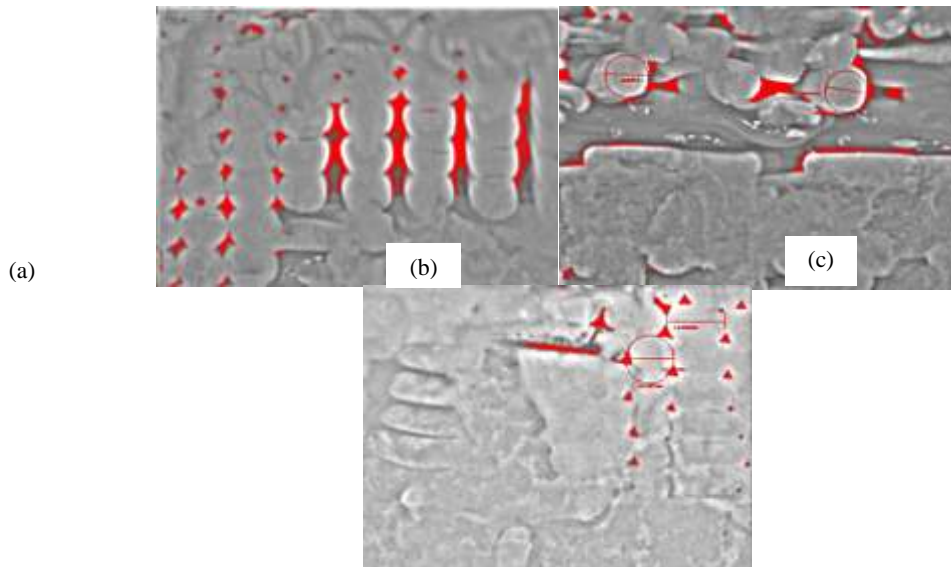
Berdasarkan Gambar 12 dengan skala perbesaran 150x terlihat bahwa ikatan yang terbentuk pada spesimen C lebih kuat dan padat dibandingkan dengan spesimen A dan spesimen B. Jika skala perbesaran diperbesar menjadi 200x dan 220x seperti pada Gambar 13 dan 14 terlihat bahwa ikatan pada spesimen C jauh lebih rapat dan padat dibandingkan dengan spesimen A dan spesimen B.

Ukuran diameter pada tiap spesimen dengan berbagai *infill type* juga telah diukur melalui pengujian makrostruktur ini. Perbandingan rata-rata ukuran diameter yang terbentuk pada masing-masing spesimen dengan berbagai *infill type* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 15. Rata-Rata Ukuran Diameter Tiap Spesimen

Berdasarkan Gambar 15 dapat terlihat bahwa spesimen B memiliki ukuran diameter yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen yang lain, yaitu sebesar 0.40 ± 0.019 mm, sedangkan untuk spesimen A memiliki rata-rata ukuran diameter sebesar 0.33 ± 0.019 mm dan spesimen C sebesar 0.35 ± 0.045 mm.



Gambar 16. Porositas pada Tiap Spesimen (a) *Concentric*, (b) *Gyroid*, (c) *Triangle*

Berdasarkan Gambar 16 diatas, luas area porositas dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Luas Area Porositas pada Tiap Spesimen

<i>Specimens</i>	<i>Porosity Area (mm²)</i>	<i>Porosity Area (%)</i>
A	0.183	2.413
B	0.337	4.337
C	0.0007	1.291

Hasil porositas spesimen yang terdapat pada Gambar 16 juga memperlihatkan bahwa spesimen dengan spesimen C memiliki ukuran porositas yang lebih kecil dibandingkan dengan porositas pada spesimen lainnya. Luas area porositas pada tiap spesimen dapat dilihat pada Tabel 3, dari data tersebut terlihat bahwa luas area porositas spesimen C yaitu sebesar 1.29%, sedangkan untuk spesimen A sebesar 2.41% dan spesimen B sebesar 4.34%.

Berdasarkan kondisi hasil pengujian strukturmakro dapat diketahui bahwa spesimen C memiliki hasil foto strukturmakro yang lapisannya menjadi pipih dan melebar, serta tersusun rapat dan hampir sama ukuran butirnya antara yang satu dengan yang lain, sehingga dapat mempererat dan mengikat hubungan antar filament yang terbentuk. Semakin seragam ukuran butir dan ikatan filament pada spesimen, akan semakin kecil juga porositas yang akan terbentuk pada spesimen tersebut, sehingga akan menyebabkan semakin kuatnya spesimen tersebut menahan beban tarik dibandingkan spesimen lainnya. Menurut Arif Imbang, 2017 dalam jurnalnya yang berjudul Analisis Pengaruh Internal Geometri Terhadap Sifat Mekanik Material *Polylactic Acid (PLA)* dipreparasi Menggunakan *3D Printing* hal ini dapat terjadi karena spesimen tersebut dapat mendistribusikan gaya dengan nilai yang hampir sama pada setiap lapisannya, oleh karena itu ukuran geometri dapat mempengaruhi ketelitian dan *layer* yang dihasilkan. Hal ini juga diperkuat oleh jurnal Harshit K Dave, dkk, pada tahun 2019 yang berjudul *Effect of infill pattern and infill density at varying part orientation on tensile properties of fused deposition modeling-printed poly-*

lactic acid part, berdasarkan penelitiannya tersebut disebutkan bahwa spesimen yang memiliki ukuran butir yang datar dan panjang memiliki nilai *tensile test* yang lebih tinggi dibandingkan spesimen yang memiliki ukuran butir yang pendek, selain itu spesimen dengan jumlah porositas yang rendah memiliki hasil *tensile test* yang lebih tinggi.

KESIMPULAN

Pengujian pengaruh variasi *infill type* terhadap hasil cetak *3D printer* berbahan PLA telah dilakukan. Berdasarkan 3 *infill type* yang berbeda, yaitu *gyroid*, *concentric* dan *triangle* didapatkan hasil bahwa spesimen C memiliki nilai uji tarik dan uji *flexural* yang lebih tinggi dibandingkan spesimen lainnya, yaitu sebesar 39.23 ± 0.93 MPa dan 48.69 ± 3.17 MPa. Hal ini dikarenakan *shrinkage* yang terjadi pada spesimen tersebut lebih besar dibandingkan dengan spesimen lainnya, sehingga spesimen tersebut akan mengalami pemadatan ikatan antar *filament* yang menyebabkan spesimen tersebut lebih kuat. Hal ini juga dibuktikan oleh pengujian makrostruktur, berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat diketahui bahwa spesimen C memiliki porositas yang lebih kecil dibandingkan spesimen dengan *infill type* lainnya. Hal ini yang menyebabkan spesimen dengan *infill type triangle* mempunyai nilai *tensile strength* dan *flexural strength* yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. L. Silva, G. M. da S. Salvador, S. V. F. Castro, N. M. F. Carvalho, and R. A. A. Munoz, "A 3D Printer Guide for the Development and Application of Electrochemical Cells and Devices," *Front. Chem.*, vol. 9, 2021, doi: 10.3389/fchem.2021.684256.
- [2] W. Li *et al.*, "A Smartphone-Enabled Portable Digital Light Processing 3D Printer," *Adv. Mater.*, vol. 33, no. 35, 2021, doi: 10.1002/adma.202102153.
- [3] T. D. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K. T. Q. Nguyen, and D. Hui, "Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges," *Compos. Part B Eng.*, vol. 143, pp. 172–196, 2018, doi: 10.1016/j.compositesb.2018.02.012.
- [4] K. Min *et al.*, "3D Printing-Induced Fine Particle and Volatile Organic Compound Emission: An Emerging Health Risk," *Environ. Sci. Technol. Lett.*, vol. 8, no. 8, pp. 616–625, 2021, doi: 10.1021/acs.estlett.1c00311.
- [5] S. Shin, B. Ko, and H. So, "Structural effects of 3D printing resolution on the gauge factor of microcrack-based strain gauges for health care monitoring," *Microsystems Nanoeng.*, vol. 8, no. 1, 2022, doi: 10.1038/s41378-021-00347-x.
- [6] B. Berman., "3-D printing : The new industrial revolution, Business Horizons," *Kelley Sch. Business, Indiana Univ.*, vol. 55, no. 2, pp. 155–162, 2012.
- [7] M. Ouhsti, B. El Haddadi, and S. Belhouideg, "Effect of printing parameters on the mechanical properties of parts fabricated with open-source 3D printers in PLA by fused deposition modeling," *Mech. Mech. Eng.*, vol. 22, no. 4, pp. 895–907, 2018, doi: 10.2478/mme-2018-0070.
- [8] D. G. Schniederjans and M. G. Yalcin, "Perception of 3D-printing: analysis of manufacturing use and adoption," *Rapid Prototyp. J.*, vol. 24, no. 3, pp. 510–520, 2018, doi: 10.1108/RPJ-04-2017-0056.
- [9] R. M. Yani., Bekti Suroso., "Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi* <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>, vol. 2, no. 2, pp. 131–139, 2019.
- [10] M. Sadia, M. A. Alhnan, W. Ahmed, and M. J. Jackson, "3D printing of pharmaceuticals," *Micro and Nanomanufacturing*, vol. 2, pp. 467–498, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-67132-1_16.
- [11] A. K. Sood, R. K. Ohdar, and S. S. Mahapatra, "Improving dimensional accuracy of Fused Deposition Modelling processed part using grey Taguchi method," *Mater. Des.*, vol. 30, no.

- 10, pp. 4243–4252, 2009, doi: 10.1016/j.matdes.2009.04.030.
- [12] M. E. Vance, V. Pegues, S. Van Montfrans, W. Leng, and L. C. Marr, “Aerosol Emissions from Fuse-Deposition Modeling 3D Printers in a Chamber and in Real Indoor Environments,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 51, no. 17, pp. 9516–9523, 2017, doi: 10.1021/acs.est.7b01546.
- [13] C. H. Lee, F. N. B. M. Padzil, S. H. Lee, Z. M. A. Ainun, and L. C. Abdullah, “Potential for natural fiber reinforcement in pla polymer filaments for fused deposition modeling (Fdm) additive manufacturing: A review,” *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 9, 2021, doi: 10.3390/polym13091407.
- [14] Q. Zhang, J. P. S. Wong, A. Y. Davis, M. S. Black, and R. J. Weber, “Characterization of particle emissions from consumer fused deposition modeling 3D printers,” *Aerosol Sci. Technol.*, vol. 51, no. 11, pp. 1275–1286, 2017, doi: 10.1080/02786826.2017.1342029.
- [15] K. U. dan M. R. A. Siregar, “Studi Eksperimen Terhadap Keausan Pada Roda Gigi Cacing Komposit,” *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi* <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>, vol. 2, no. 2, pp. 131–139, 2019.