

Pengaruh Geometri Infill terhadap Kekuatan Tarik Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Type IV Menggunakan Filamen PLA+ Sugoi

Zaldy Sirwansyah Suzen, Hasdiansah*

Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Bangka Belitung
Kawasan Industri Air Kantung, Bangka, 33211, Telp: 0717-93586, Fax: 0717-93585

*E-mail: syahdika99@gmail.com

Diterima: 25-01-2021; Direvisi: 08-08-2021; Dipublikasi: 27-08-2021

Abstrak

Pengaturan parameter proses 3D *Printing* berteknologi *Fused Deposition Modelling* (FDM) sangat mempengaruhi kualitas produk cetak baik dalam hal akurasi dimensi, *surface roughness*, dan kekuatan tariknya. Dua material yang paling sering digunakan para praktisi 3D *Printing* adalah PLA dan ABS masih memerlukan pengaturan parameter proses pada *slicing software* untuk menghasilkan produk cetak paling kuat ditinjau dari kuat tariknya. Penelitian ini memvariasikan bentuk geometri *infill* yang tersedia pada Ultimaker Cura 4.8.0 dalam mencetak spesimen uji tarik ASTM D638 Type IV. Ada 13 (tiga belas) bentuk *infill* yang digunakan dengan *infill density* 100%. Ada 3 (tiga) variasi *nozzle temperature* yaitu 205°C, 215°C, dan 225°C. Parameter proses yang tetap seperti *layer thickness* 0,2 mm, *printing speed* 50 mm/s, *travel speed* 100 mm/s, dan *bed temperature* 60°C. Spesimen uji tarik dicetak masing-masing tiga buah pada 39 (tiga puluh sembilan) eksperimen dan rata-rata hasil uji tarik dihitung kemudian selanjutnya dianalisis. Nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada pengaturan *nozzle temperature* 205°C dengan bentuk *infill concentric* atau terdapat pada eksperimen nomor 9 dengan nilai 32,40 MPa. Sedangkan nilai kekuatan tarik diperoleh pada pengaturan *nozzle temperature* 225°C dan dengan bentuk *infill cross* atau pada eksperimen nomor 37 dengan nilai 19,10 MPa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa bentuk geometri *infill* pada proses 3D *Printing* FDM sangat mempengaruhi kekuatan tarik produk cetak.

Kata kunci: *concentric; cross; 3D Printing; infill; PLA+*

Abstract

3D *Printing* process parameter settings with *Fused Deposition Modeling* (FDM) technology greatly affect the quality of print products in terms of dimensional accuracy, *surface roughness*, and tensile strength. The two materials most often used by 3D *Printing* practitioners, PLA and ABS, still require setting process parameters in the *slicing software* to produce the strongest printed product in terms of tensile strength. This study varied the *infill* geometric shapes available in Ultimaker Cura 4.8.0 in printing the ASTM D638 Type IV tensile test specimen. There are 13 (thirteen) forms of *infill* which are used with *infill density* of 100%. There are 3 (three) variations of the *nozzle temperature*, namely 205 ° C, 215 ° C, and 225 ° C. Fixed process parameters such as *layer thickness* 0.2 mm, *printing speed* 50 mm/s, *travel speed* 100 mm/s, and *bed temperature* 60 ° C. The tensile test specimens were printed three in each of the 39 (thirty nine) experiments and the mean of the tensile test results was calculated and then analyzed. The highest tensile strength value is obtained at the *nozzle temperature* setting of 205 ° C with the *concentric infill* form or found in experiment number 9 with a value of 32.40 MPa. While the tensile strength value is obtained at the *nozzle temperature* setting of 225 ° C and in the form of an *infill cross* or in experiment number 37 with a value of 19.10 MPa.. So it can be concluded that the geometric shape of the *infill* in the 3D *Printing* FDM process greatly affects the tensile strength of printed products.

Keywords: *concentric; cross; 3D Printing; Infill PLA +*

1. Pendahuluan

Dalam upaya pengembangan suatu kualitas suatu produk untuk mendapatkan hasil yang baik, maka sangat diperlukan sebuah teknologi. Salah satunya adalah penggunaan Mesin 3D *Printing* yang merupakan teknologi yang sedang berkembang saat ini pada industri manufaktur. Prinsip kerja 3D *Printing* adalah dengan cara menggunakan metode penambahan material dalam membuat produk yang sering disebut proses *Additive manufacturing*. Dimana *Additive Manufacturing* telah banyak diterapkan di berbagai industri, termasuk konstruksi, kesehatan, *prototyping* dan biomekanik [1]. Produk inilah yang diupayakan agar dapat menggantikan material logam pada umumnya untuk pembuatan *spare part*

mesin ataupun peralatan yang membutuhkan biaya yang lebih ekonomis mudah dalam pembuatannya yang bisa menggantikan *spare part* bahan logam.

Dua jenis material yang paling sering digunakan yaitu *material Polylactic acid or polylactide (PLA)* dan *Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)* [2], karena teknologi *3D Printing FDM* mampu membuat produk duplikat dengan akurat salah satunya menggunakan material ABS [3]. Adapun Material PLA merupakan salah satu material berjenis *thermoplastic polymer* yang paling banyak digunakan untuk pembuatan model tiga dimensi. Selain mempunyai titik leleh yang rendah yaitu pada temperatur 190°C [4] material ini juga mempunyai sedikit bau jika dibandingkan dengan jenis ABS [5] yang memiliki temperatur 240°C [6]. Material PLA yang memiliki sifat tarik dan lentur telah banyak diteliti menggunakan orientasi posisi tegak menghasilkan kinerja mekanik paling rendah, sedangkan orientasi posisi tepi dan rata menghasilkan kekuatan dan kekakuan yang tinggi [7].

Penelitian menggunakan metode *Fused Deposition Modeling (FDM)* material Polimeric ULTEM 9085 dengan desain percobaan faktorial penuh menggunakan parameter *air gap, raster width, raster angle, contour number and contour width*, hasil yang didapat yaitu pada parameter *Raster angle* memiliki pengaruh tinggi dengan menghasilkan kekuatan tarik terendah sekitar 30 MPa, sedangkan 87 MPa untuk kekuatan tarik tertinggi [8].

Pada penelitian yang sudah dilakukan pada produk menggunakan material PLA dengan orientasi posisi objek horizontal memiliki kualitas dimensi yang paling baik. Jumlah kesalahan akurasi material ini tidak melebihi 1 mm pada setiap layer. Sedangkan material ABS dengan posisi orientasi objek vertikal dan tebal layer sebesar 0,10 mm menghasilkan kekuatan tegangan tarik yang terkecil sebesar 8,62 MPa dan material PLA dengan orientasi posisi objek horizontal dengan dan tebal layer sebesar 0,40 mm menghasilkan kekuatan tegangan tarik terbesar 35,57 Mpa [9].

Pada penelitian sebelumnya yang menggunakan material PLA+ Material yang digunakan adalah filamen PLA+ Esun dengan diameter 1,75 mm dengan variasi parameter *nozzle temperature* yaitu 205°C, 215°C dan 225°C, *layer thickness* 0,2, *bed temperature* 60°C, *travel speed* 100, *printing speed* 50, dengan *infill type* yaitu *Grid, Lines, Triangles, Tri Hexagon, Cubic, Cubic Subdivision, Octet, Quarter Qubic, Concentric, Zig Zag, Cross, Cross 3D* dan *Gyroid*, telah menghasilkan kekuatan tarik tertinggi yaitu 43,20 Mpa dengan parameter *temperature nozzle* 215 °C pada *Infill Type Concentric*. Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah yaitu 24,50 Mpa pada *temperature nozzle* 205 °C dengan *Infill Type Cross* [10]. Penelitian yang telah dilakukan terhadap material PLA Food Grade menunjukkan pengaturan parameter terbaik terhadap akurasi tinggi spesimen uji yaitu *nozzle temperature* (185 °C), *layer thickness* (0,20 mm), *printing speed* (40 mm/s), *infill rate* (8 %), dan *temperature based plate* (40 °C) [11]. Setting parameter yang menghasilkan kekasaran permukaan terbaik dengan nilai 3,321 µm dengan menggunakan filamen ST. PLA adalah 0,10 mm untuk *layer thickness*, 40 mm/s untuk *printing speed*, 190°C untuk *nozzle temperature*, 45° untuk *orientation*, 110 % untuk *flowrate* dan 40 % untuk *cooling speed* [12]. Tiga parameter proses digunakan dalam penelitian ini, termasuk jenis filamen, *infill density*, dan *infill pattern*. Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik spesimen uji, bahwa faktor yang paling berpengaruh adalah *infill pattern*, penelitian ini menggunakan Full Factorial [13]. Penelitian terhadap filamen PLA dengan pengaturan *bed temperature* 60°C, *nozzle temperature* 200°C, dan *printing speed* 80 mm/s. Type *infill* bentuk line dengan densitas 100% menunjukkan bahwa semakin besar nozzle yang digunakan memberikan pengaruh terhadap kuat tarik, tetapi tidak meningkat signifikan atau tidak meningkat secara linear [14]. Tujuh variasi diameter nozzle, 0,2mm, 0,3mm, 0,4mm, 0,5mm, 0,6mm 0,8mm, dan 1mm telah digunakan untuk mencetak spesimen uji tarik standar PN-EN ISO 527:1998 menunjukkan bahwa diameter nozzle 0,5mm menghasilkan kuat tarik tertinggi yaitu 1,93 kN [15]. Berdasarkan penjelasan di atas, penelitian ini dilakukan untuk membandingkan dan mengetahui hasil dari pengaruh *infill* terhadap kuat tarik spesimen uji Tarik ASTM D638 type IV menggunakan material PLA+ Sugo.

2. Metode Penelitian

2.1. Objek Penelitian

Objek penelitian adalah menggunakan material filamen PLA+ Sugoi dengan diameter 1,75 mm yang akan dicetak pada mesin 3D FDM model Prusa dengan menggunakan nozzle berukuran 0,4 mm dengan parameter parameter tersebut yaitu *temperature nozzle* (205°C, 215 °C, 225 °C), *layer Thickness* 0,2 mm, *Temperature Bed* 60°C, *Travel Speed* 100 mm/s, *Printing Speed* 50 mm/s, *infill precentage* 100% dan *infill Type* (*Grid, Lines, Triangles, Tri Hexagon, Cubic, Cubic Subdivision, Octet, Quarter Qubic, Concentric, Zig Zag, Cross, Cross 3D dan Gyroid*).

2.2 Metode Yang Digunakan

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan melakukan studi literatur untuk mendapatkan nilai tertinggi dan terendah dari parameter 39 spesimen sampel yang dicetak pada mesin 3D Printing kemudian dilakukan pengujian tarik. Setelah data pengujian tarik diperoleh, selanjutnya akan dilakukan analisa menggunakan tabel kemudian dari hasil yang yang diperoleh akan terdapat nilai tertinggi berdasarkan hasil analis data. Kemudian akan dibuat simpulan dalam tampilan grafik analisa.

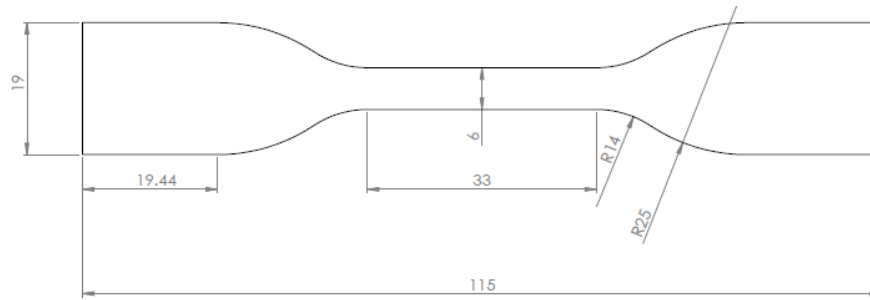
2.3 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk mencetak spesimen pada penelitian ini yaitu mesin 3D Printer FDM Anet ET4 dengan *printing volums XYZ* 220 mm × 220 mm × 250 mm yang ditunjukkan pada Gambar 1. Sedangkan bahan yang digunakan sebagai media uji yaitu Material filamen PLA+ Sugoi dengan diameter 1,75 mm.



Gambar 1. Mesin 3D Printing FDM Anet ET4

Untuk proses selanjutnya akan dilakukan pencetakan sample material sesuai dengan jumlah yang akan dianalisa dan memiliki ukuran berdasarkan standar ASTM D638 TYPE IV yang ditunjukkan pada Gambar 3. Proses pencetakan menggunakan *Software Slicer software Ultimaker Cura 4.4.0* yang telah dipasangkan di komputer yang digunakan untuk mendapatkan *G-Code* yang digunakan pada mesin 3D Printer. Selanjutnya adalah proses pengujian di Mesin Uji Tarik *Zwick Roell* model 2012 BT2-FR020TH.A50 yang ditunjukkan pada Gambar 2.



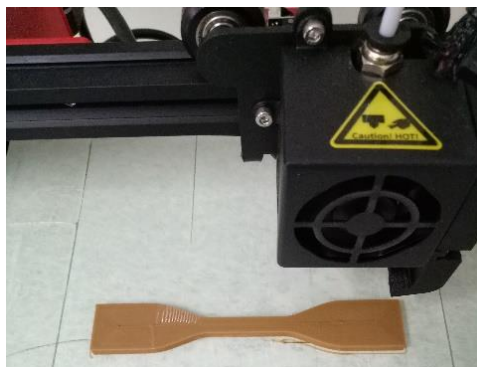
Gambar 2. Dimensi Material standar ASTM D638 TYPE IV

2.4 Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang diperlukan dalam melakukan penelitian ini yaitu spesifikasi mesin *3D Printer* yang akan digunakan untuk mencetak produk yang akan diuji tarik, karakteristik filamen yang digunakan, nilai dari setiap parameter proses yang akan diuji serta hasil uji tarik dari produk yang berbentuk standar ASTM D638 TYPE IV.

2.5 Langkah-langkah Penelitian

Pada tahapan ini penentuan parameter awal ditentukan berdasarkan studi pustaka dan rekomendasi pabrik pembuat filamen PLA+Sugoi. Selanjutnya proses kalibrasi mesin *3D Printer* harus dilakukan untuk mendapatkan kedataran pada meja cetak. Pembuatan *3D* objek dengan menggunakan *CAD* dan file gambar *3D* selanjutnya disimpan dalam format *STL* (*.stl). Selanjutnya file *STL* (*.stl) tersebut diolah pada *software slicing* (*Ultimaker Cura 4.4.0*), dan pada tahap ini objek *3D* akan dibuat *layer by layer* dengan variasi parameter *nozzle temperature*, *layer thickness*, *bed temperature*, *travel speed*, *printing speed*, *infill type* yang akan ditentukan pada *software Ultimaker Cura 4.4.0*. Tahap ini juga merupakan penentuan parameter proses dan penentuan level tiap parameter juga ditentukan berdasarkan studi pustaka dan rekomendasi pabrik pembuat filamen PLA+. Selanjutnya akan dilakukan penentuan dimensi dan bentuk *3D* objek cetak berdasarkan standar ASTM D638 TYPE IV kemudian material akan dicetak satu persatu sebanyak 39 *sample* menggunakan mesin *3D Printer* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Material Cetak

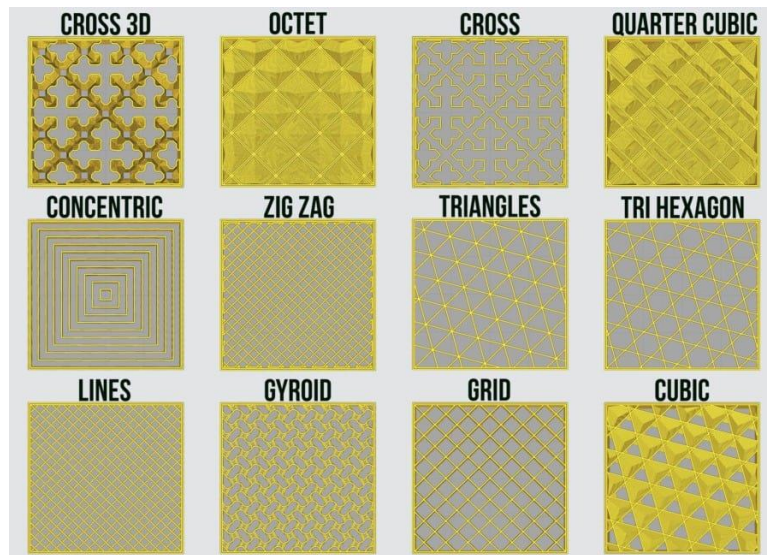
2.6 Penentuan Faktor dan Level Eksperimen

Pemilihan parameter proses yang berupa faktor dan level eksperimen berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan. Filament yang akan dijadikan sebagai bahan baku penelitian telah adalah PLA+ Sugoi. Spesimen uji menggunakan parameter *nozzle temperature* dengan 3 level suhu yaitu 205 °C, 215 °C, dan 225 °C, *layer thickness*, *bed temperature*, *travel speed*, *printing speed* dengan nilai yang konstan dan 13 *infill type* sehingga menghasilkan 39 specimen untuk diuji seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Level Parameter yang Diuji

<i>Temperature Nozzle</i> (°C)	<i>Layer Thickness</i> (mm)	<i>Temperature Bed</i> (°C)	<i>Travel Speed</i> (mm/s)	<i>Printing Speed</i> (mm/s)	<i>Infill percentase</i> (%)	<i>Infill Type</i>
205, 215, 225	0,2	60	100	50	100	<i>grid, lines, triangles, tri hexagon, cubic, cubic subdivision, octet, quarter cubic, concentric, zig zag, cross, cross 3D, gyroid</i>

Berdasarkan Tabel 1 yang telah ditentukan maka akan dicetak spesimen sebanyak 39 sperimen yang berbentuk sesuai standar ASTM D638 TYPE IV, kemudian akan dilakukan analisa hasil yang akan diperoleh dari pengujian tarik. Nilai tiap parameter akan di-*input* ke mesin *3D Printer* dan akan dilakukan pencetakan. Hasil cetakan akan dilakukan pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik *Merk Zwick Roell* untuk mengetahui nilai tertinggi dan terendah dari spesimen yang dicetak berdasarkan data dan bentuk-bentuk infill yang dipilih seperti yang ditunjuk pada Gambar 3.



Gambar 3. Bentuk-bentuk *Infill* Pada Ultimaker Cura [16]

2.7 Pengujian Tarik Spesimen

Parameter- parameter geometri proses yang diatur pada *slicing software* menunjukkan hasil kekuatan tarik spesimen uji ASTM D638 Type IV yang bervariasi. Hasil pengujian tarik spesimen uji ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Hasil Pengujian Tarik Spesimen Uji ASTM D638 Type IV

<i>EXP . No.</i>	<i>Temperature Nozzle</i> (°C)	<i>Layer Thicknes s</i> (mm)	<i>Temperature Bed</i> (°C)	<i>Travel Speed</i> (mm/s)	<i>Printing Speed</i> (mm/s)	<i>Infill percentase</i> (%)	<i>infill Type</i>	<i>Hasil Uji Tarik (Mpa)</i>
1	205	0.2	60	100	50	100%	Grid	20,50
2	205	0.2	60	100	50	100%	lines	20,20
3	205	0.2	60	100	50	100%	Triangles	20,70
4	205	0.2	60	100	50	100%	Tri Hexagon	19,80
5	205	0.2	60	100	50	100%	Cubic	22,00
6	205	0.2	60	100	50	100%	Cubic Subdivisio n	20,20

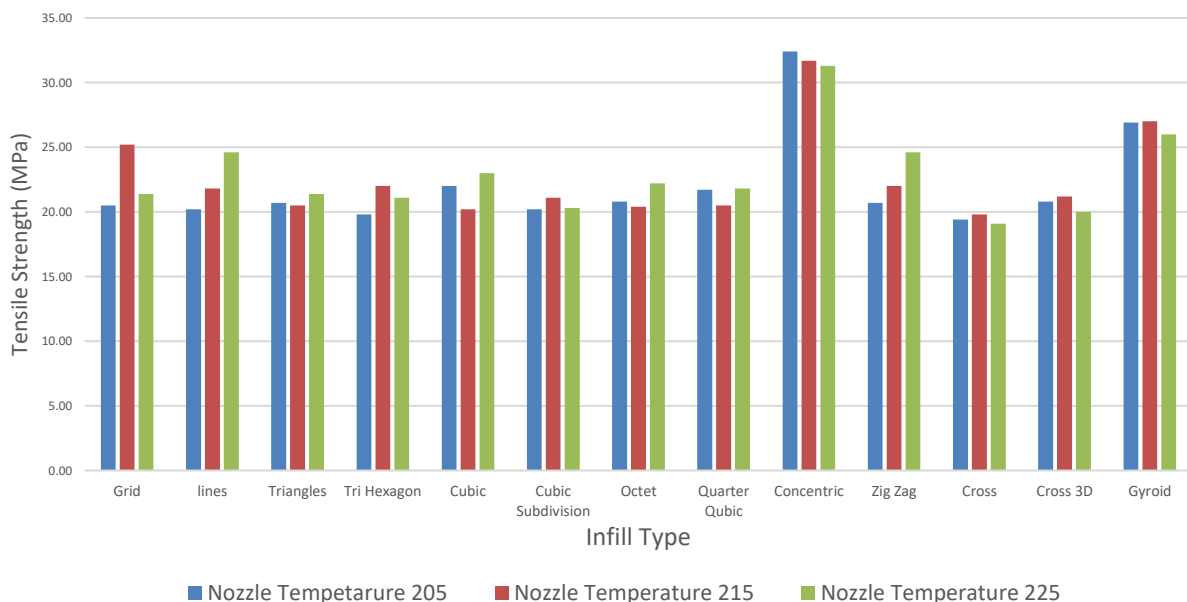
<i>EXP . No.</i>	<i>Temperatu re Nozzle (°C)</i>	<i>Layer Thicknes s (mm)</i>	<i>Temperatu re Bed (°C)</i>	<i>Travel Speed (mm/s)</i>	<i>Printing Speed (mm/s)</i>	<i>Infill percentase (%)</i>	<i>infill Type</i>	<i>Hasil Uji Tarik (Mpa)</i>
7	205	0.2	60	100	50	100%	Octet	20,80
8	205	0.2	60	100	50	100%	Quarter Qubic	21,70
9	205	0.2	60	100	50	100%	Concentric	32,40
10	205	0.2	60	100	50	100%	Zig Zag	20,70
11	205	0.2	60	100	50	100%	Cross	19,40
12	205	0.2	60	100	50	100%	Cross 3D	20,80
13	205	0.2	60	100	50	100%	Gyroid	26,90
14	215	0.2	60	100	50	100%	Grid	25,20
15	215	0.2	60	100	50	100%	lines	21,80
16	215	0.2	60	100	50	100%	Triangles	20,50
17	215	0.2	60	100	50	100%	Tri Hexagon	22,00
18	215	0.2	60	100	50	100%	Cubic	20,20
19	215	0.2	60	100	50	100%	Cubic Subdivisio n	21,10
20	215	0.2	60	100	50	100%	Octet	20,40
21	215	0.2	60	100	50	100%	Quarter Qubic	20,50
22	215	0.2	60	100	50	100%	Concentric	31,70
23	215	0.2	60	100	50	100%	Zig Zag	22,00
24	215	0.2	60	100	50	100%	Cross	19,80
25	215	0.2	60	100	50	100%	Cross 3D	21,20
26	215	0.2	60	100	50	100%	Gyroid	27,00
27	225	0.2	60	100	50	100%	Grid	21,40
28	225	0.2	60	100	50	100%	lines	24,60
29	225	0.2	60	100	50	100%	Triangles	21,40
30	225	0.2	60	100	50	100%	Tri Hexagon	21,10
31	225	0.2	60	100	50	100%	Cubic	23,00
32	225	0.2	60	100	50	100%	Cubic Subdivisio n	20,30
33	225	0.2	60	100	50	100%	Octet	22,20
34	225	0.2	60	100	50	100%	Quarter Qubic	21,80
35	225	0.2	60	100	50	100%	Concentric	31,30
36	225	0.2	60	100	50	100%	Zig Zag	24,60
37	225	0.2	60	100	50	100%	Cross	19,10
38	225	0.2	60	100	50	100%	Cross 3D	20,00
39	225	0.2	60	100	50	100%	Gyroid	26,00

3. Hasil dan Pembahasan

Hal yang harus dilakukan dalam menentukan hasil dari pengujian adalah dapat melakukan analisa data yang diperoleh berdasarkan tahapan-tahapan yang telah dilakukan. Dari hasil yang diperoleh setelah dilakukannya pengujian tarik pada

spesimen uji, maka akan didapatkan nilai kekuatan tarik yang bervariasi sesuai dengan parameter-parameter yang telah ditentukan berdasarkan eksperimen tersebut. Adapun parameter tersebut dengan geometri yaitu *nozzle temperature* (205°C, 215 °C, 225 °C), *layer Thickness* 0,2 mm, *bed temperature* 60°C, *travel Speed* 100 mm/s, *printing Speed* 50 mm/s, *infill precentage* 100% dan *infill type* (Grid, Lines, Triangles, Tri Hexagon, Cubic, Cubic Subdivision, Octet, Quarter Qubic, Concentric, Zig Zag, Cross, Cross 3D dan Gyroid).

Berdasarkan hasil diperoleh dari data pengujian selanjutnya akan dilakukan pengolahan data dalam bentuk grafik yang ditunjukkan Gambar 4, parameter dan bentuk geometri *infill* dan *nozzle temperature* memiliki pengaruh besar terhadap kekuatan tarik spesimen uji, sehingga dari hasil pengujian nilai pengujian tertinggi dan terendah pada setiap temperatur spesimen dapat diketahui. Hasil kekuatan tarik tertinggi untuk material PLA+ Sugoi yaitu *nozzle temperature* 205°C pada *Infill type Concentric* yaitu 32,40 MPa, *nozzle temperature* 215°C pada *infill Concentric* 31,70 MPa dan *nozzle temperature* 225°C pada *infill Concentric* 31,30 Mpa. Untuk hasil kekuatan tarik terendah *nozzle temperature* 205°C diperoleh pada *Infill type Cross* yaitu 19,40 MPa, *nozzle temperature* 215°C pada *infill Cross* 19,80 MPa dan *nozzle temperature* 225°C pada *infill Cross* 19,10 MPa.



Gambar 4. Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen Uji

4. Kesimpulan

Dari pembahasan yang telah dilakukan pada tahapan pengujian dan analisa, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai kekuatan tarik tertinggi pada setiap temperatur yang ditentukan hasil yang diperoleh dominan pada geometri *Infill type concentric* yaitu terdapat pada spesimen uji ke 9 yaitu 32,40 MPa dengan parameter *nozzle temperature* 205 °C, *layer thickness* 0,2 mm, *bed temperature* 60°C, *travel speed* 100 mm/s, *printing speed* 50 mm/s dan *infill precentage* 100%, sedangkan nilai kekuatan tarik terendah terdapat geometri *infill type cross* pada spesimen uji ke 37 yaitu 19,70 MPa dengan parameter *nozzle temperature* 225 °C, *layer Thickness* 0,2 mm, *bed temperature* 60°C, *travel speed* 100 mm/s, *printing speed* 50 mm/s dan *infill precentage* 100%.

Daftar Pustaka

- [1] Tuan D. Ngo., Alireza Kashani, Gabriele Imbalzano, Kate T. Q. Nguyen & David Hui. 2018. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Jurnal Composite Part B: engineering*.
- [2] Sood, A. K., Ohdar, R. K. and Mahapatra, S. S., (2009), Improving dimensional accuracy of Fused Deposition Modelling processed part using grey Taguchi method, *Materials and Design*. Elsevier Ltd, 30(10), pp. 4243–4252. doi: 10.1016/j.matdes.2009.04.030.
- [3] Satyanarayana, B, and Prakash, KJ 2015, Component Replication using 3D Printing Technology. *Procedia Materials Science* 10., p.263 – 269.
- [4] Babagowda, R. S. Kadadevara Math, R. Goutham, and K. R. Srinivas Prasad, “Study of Effects on Mechanical Properties of PLA Filament which is blended with Recycled PLA Materials,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 310, no. 1, 2018.
- [5] D. Sulayman, “Pengaruh Suhu dari Heater Nozzle Terhadap Produk Printer 3D,” Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2015.
- [6] Z. Quan et al., “Printing Direction Dependence of Mechanical Behavior of Additively Manufactured 3D Preforms and Composites,” *Compos. Struct.*, Vol. 184, pp. 917–923, 2018.
- [7] Ziemian C, et al., Anisotropic mechanical properties of ABS parts fabricated by fused deposition modelling. In: Gokcek M, editor. *Mechanical engineering*, InTech, 159–180, 2012.
- [8] Aboma Wagari Gebisa & Hirpa G. Lemu, Influence of 3D Printing FDM Process Parameters on Tensile Property of ULTEM 9085, *Procedia Manufacturing* 30, 331-338, 2018.
- [9] Lubis, S., Djamil, S. & Yolanda, Y.,. Pengaruh Orientasi Objek Pada Proses 3d Printing Bahan Polymer Pla Dan Abs Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketelitian Dimensi Produk. *Sinergi*, 20(1), p.27, 2016.
- [10] Z. S. Suzen, Hasdiansah, & Yuliyanto, Pengaruh Tipe Infill Dan Temperatur Nozzle Terhadap Kekuatan Tarik Produk 3d Printing Filamen Pla+ Esun, *Manutech*, Vol. 12, No. 02, 2020.
- [11] Christiliana, M., Pristiansyah, Oktriadi Y. Optimasi Parameter Proses pada 3D Printing FDM terhadap Akurasi Dimensi Filament PLA Food Grade. *Manutech* [Internet]. 2021Jun.18 [cited 2021Jul.27]; 13(01):1-8.
- [12] Hasdiansah, Yudha Bika Pratama, Pristiansyah. Pengaruh Parameter Proses Slicing Software Terhadap Kekasaran Permukaan Printing Part Filamen ST-PLA: Pengaruh Parameter Proses Slicing Software Terhadap Kekasaran Permukaan Printing Part Menggunakan Filamen ST-PLA. *Manutech* [Internet]. 2021Jun.18 [cited 2021Jul.27];13(01):33-40.
- [13] Son TA, Minh PS, Thanh TD. Effect of 3D Printing Parameters on the Tensile Strength of Products. *Key Engineering Materials* [Internet]. Trans Tech Publications, Ltd.; 2020 Sep;863:103–8.
- [14] Triyono J, Sukanto H, Saputra R, Smaradhana D. The effect of nozzle hole diameter of 3D printing on porosity and tensile strength parts using polylactic acid material. *Open Engineering*. 2020;10(1): 762-768.
- [15] Kiński W, Pietkiewicz P. Influence of the Printing Nozzle Diameter on Tensile Strength of Produced 3D Models in FDM Technology. *Agricultural Engineering*. 2020;24(3): 31-38.
- [16] <https://the3dbros.com/3d-print-infill-patterns-explained/> (diakses: 15 Agustus 2021)