

The Influence Of Infill Pattern, Layer Height, And Infill Density On Tensile Strength Of 3D Printed Polylactic Acid (PLA) Filament

Bananda Muharam¹ Rifelino² Yufrizal³ Zainal Abadi⁴

¹²³⁴Teknik Mesin, Universitas Negeri Padang
e-mail: banandamuharam@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi telah menawarkan kemudahan dalam berbagai bidang, salah satu teknologi yang mengalami kemajuan yang cukup pesat adalah teknologi 3D *printing*. Teknologi ini menawarkan kemudahan memproduksi benda dengan desain yang rumit dan beragam sesuai keinginan. Namun yang masih menjadi permasalahan penerapan 3D *printing* yaitu kualitas hasil cetakan yang dipengaruhi oleh pengaturan parameter proses seperti *infill pattern*, *layer height*, dan *infill density*. Pengetahuan tentang pengaruh yang diberikan oleh parameter proses yang digunakan sangat dibutuhkan untuk menghasilkan produk yang berkualitas. Maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter proses yang paling berpengaruh terhadap kekuatan tarik material. Penelitian menggunakan jenis penelitian kuantitatif dengan metode eksperimen, spesimen dicetak sebanyak dua puluh tujuh buah dengan memvariasikan *infill pattern*, *layer height*, dan *infill density* dengan menggunakan material PLA. Penelitian ini menggunakan pengujian tarik, berdasarkan pengujian yang dilakukan nilai kekuatan tarik terendah yaitu 13.50 N/mm² dengan kombinasi parameter *infill pattern triangles*, *layer height* 0.10 mm, *infill density* 75%. Nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 25.76 N/mm² dengan kombinasi parameter *infill pattern grid*, *layer height* 0.30 mm, dan *infill density* 75% menjadi kombinasi parameter yang disarankan untuk mencetak produk 3D *printing*. Berdasarkan P-value pada ANOVA, menunjukkan bahwa ketiga parameter cetak secara signifikan berpengaruh terhadap kekuatan tarik produk, karena kecil dari 0.05 dengan kontribusi terbesar pada *infill density* 48.20%, diikuti *layer height* sebesar 30.49, dan *infill pattern* sebesar 7.62%.

Kata Kunci: 3D *Printing*, *Infill Pattern*, *Layer Height*, *Infill Density*, PLA, *Tensile Strength*

Abstract

The development of technology has offered convenience in various fields, one technology that has experienced quite rapid progress is 3D Printing technology. This technology offers the convenience of producing objects with complex and diverse designs according to desire. However, the problem in the application of 3D Printing is the quality of the printed results which are influenced by the setting of process

parameters such as infill pattern, layer height, and infill density. Knowledge of the influence given by the process parameters used is needed to produce quality products. So this study aims to determine the process parameters that have the most influence on the tensile strength of the material. The study uses a quantitative research type with an experimental method, twenty-seven specimens were printed by varying the infill pattern, layer height, and infill density using PLA material. This study uses tensile testing, based on the tests carried out the lowest tensile strength value is 13.50 N/mm² with a combination of infill pattern triangles parameters, layer height 0.10 mm, infill density 75%. The highest tensile strength value of 25.76 N/mm² with a combination of infill pattern grid parameters, layer height 0.30 mm, and infill density 75% is the recommended parameter combination for printing 3D Printing products. Based on the P-value in ANOVA, it shows that the three printing parameters significantly affect the tensile strength of the product, because it is smaller than 0.05 with the largest contribution to the infill density of 48.20%, followed by layer height of 30.49, and infill pattern of 7.62%.

Keywords: *3D Printing, Infill pattern, layer height, Infill Density, PLA, Tensile Strength*

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi di era 4.0 diberbagai bidang telah memberikan kemudahan, salah satu teknologi yang berkembang cukup pesat yaitu teknologi 3D *printing* atau lebih dikenal *additive manufacturing* (Fradika et al., 2021). Prinsip kerja *additive manufacturing* yaitu proses merubah file digital berupa desain 3 dimensi menjadi benda padat. Ada banyak sistem *additive manufacturing* yang tersedia seperti *fused deposition modelling* (FDM), *direct metal deposition* (DMD), *selective lasersintering* (SLS), *inkjet modeling* (IJM), dan *stereo-lithography* (SLA) (Mohamed et al., 2015). Teknologi *additive manufacturing* yang banyak digunakan dan berkembang pesat saat ini adalah *fused deposition modeling* (FDM) (Ahmad Naufal et al. 2021). Prinsip kerja dari FDM yaitu dengan mengekstrusi material termoplastik menggunakan *nozzle*, yang sebelumnya telah dilelehkan. Teknologi FDM diperkirakan akan terus berkembang pesat mengikuti perkembangan zaman menuju era *Society 5.0*. (Taufik et al., 2020). Teknologi FDM menggunakan bahan termoplastik sebagai filamen seperti *polylactic acid*, *acrylonitrile butadiene styrene*, *polikarbonat*, dan *polyurethane*. *Polylactic acid* material yang paling umum digunakan dalam 3D *printing*, karena mudah diaplikasikan, murah, dan memiliki akurasi tinggi. PLA mempunyai sifat mekanik dan kimia yang baik, serta merupakan material yang ramah terhadap lingkungan, bersifat *biodegradable*, dan *non toxic* (Kristiawan et al. 2021). Dalam melakukan pencetakan menggunakan 3D *printing*, hasil akhir produk sangat dipengaruhi oleh pengaturan parameter yang digunakan. Parameter yang umum diatur dalam pencetakan 3D *printing* yaitu *infill pattern*, *nozzle temperature*, *bed temperature*, *print speed*, *layer height*, *infill density*. Masing – masing parameter memberikan dampak tersendiri pada pencetakan, seperti kekasaran permukaan, lama percetakan, sifat mekanis seperti elastisitas, kekerasan, *strength*, dan *fatigue strength* dari produk yang dicetak (Cahyati

& Furqon, 2022). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Dira Nurfaedah (2021) dengan memvariasikan *layer thickness*, *nozzle temperature*, dan *infill percentage* dengan material PLA terhadap respon bending menunjukkan bahwa *layer thickness* merupakan parameter cetak yang paling berpengaruh terhadap kekuatan bending.. Berril (2022) melakukan penelitian dengan mevariasikan *printing speed*, *layer height*, *infill density*, *nozzle temperature* terhadap respon bending untuk menentukan kombinasi parameter optimum. Pada penelitian ini menghasilkan kombinasi parameter optimum yaitu *printing speed* (V) 80 m/s, *layer height* (H) 0.3 mm, *infill density* (I) 100% dan *nozzle temperature* (T) 215.

Sutisna & Fattah (2021) melakukan penelitian, dengan memvariasikan parameter proses *layer height*, *infill density*, dan *nozzle temperature* dengan menggunakan material PLA sebagai filament. Penelitian ini menghasillkan bahwa *layer height* memberikan pengaruh paling besar terhadap sifat mekanik material berupa kekuatan tarik. *Layer height* yang lebih besar menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi. Penelitian terkait juga dilakukan Lubis et al (2021). dengan menganalisis pengaruh dari parameter proses yang divariasikan berupa *print speed*, *layer height*, *nozzle temperature*, dan *infill density* menggunakan material PLA sebagai filament. Penelitian ini menggunakan *analisis of varians* (ANOVA) untuk menganalisis data hasil pengujian tarik. Berdasarkan penelitian ini didapatkan bahwa parameter proses *nozzle temperature* berpengaruh paling besar terhadap besarnya nilai kekuatan tarik, sedangkan *layer height* memiliki pengaruh paling kecil terhadap besarnya nilai uji tarik.

METODE

Penelitian menggunakan jenis penelitian kuantitatif dengan metode eksperimen yang bertujuan untuk melihat parameter yang paling berpengaruh terhadap respon kekuatan tarik. Pengaruh parameter dihitung menggunakan *analisis of varians* (ANOVA).

Alat yang digunakan untuk mendukung penelitian sebagai berikut:

1. Mesin 3D *printer* yang digunakan Anet A8 Plus.
2. Mesin UTM tipe HT 2402 untuk proses pengujian tarik.
3. Solidwork 2017 untuk desain spesimen uji tarik.
4. Slicer Ultimaker Cura 5.7.2 untuk mengubah file STL menjadi *G- Code*.
5. SD Card untuk menyimpan file *G-Code* pada mesin 3D *printing*.
6. *Cutter* membuang *plate adhesion*

Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu PLA esun sebagai material filament pencetakan spesimen, spesifikasi PLA esun ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Filamen PLA

<i>Nozzle Temperature</i>	210 – 230 °C
<i>Bed Temperature</i>	45 - 60 °C
<i>Tensile Strength</i>	60 MPa
<i>Printing Speed</i>	40 – 100 mm/s



Gambar 1. Filament PLA kuning

Design of Experiment (DOE)

Desain eksperimen merupakan suatu pendekatan sistematis dalam statistik untuk meneliti suatu sistem atau proses guna meningkatkan kualitas produk atau proses. Dengan kata lain DOE dapat diartikan sebagai tahapan prosedur yang dipakai selama melakukan penelitian. Didalam DOE terdapat rangkaian tahapan dari persiapan awal hingga tafsiran hasil penelitian. Agar dapat menghasilkan kesimpulan dalam penelitian yang valid, efektif serta efisien, penelitian harus dilakukan perencanaan eksperimen yang sistematis. Tujuan utama dari desain eksperimen yaitu untuk mendapatkan informasi sebanyak banyaknya dari eksperimen yang dilakukan serta agar penelitian mendapatkan data yang seharusnya. Pada penelitian ini menggunakan *full factorial design*, dimana menggunakan tiga buah parameter dan masing – masing parameter memiliki tiga level sehingga ditetapkan jumlah spesimen sebanyak 27 buah. Parameter proses yang digunakan pada penelitian yaitu *infill pattern*, *layer height*(mm), *infill density* (%). Pola *infill* yang dipilih yaitu *Grid*, *Triangles* dan *Tri-Hexagon*. Pemilihan parameter *layer height* ditetapkan senilai 0.10 mm (level pertama), 0.20 mm (level kedua), 0.30 mm (level ketiga). *infill density* dengan tiga level yaitu 25% (level pertama), 50% (level kedua), 75% (level ketiga). Berikut DOE penelitian ini ditampilkan dalam tabel 2.

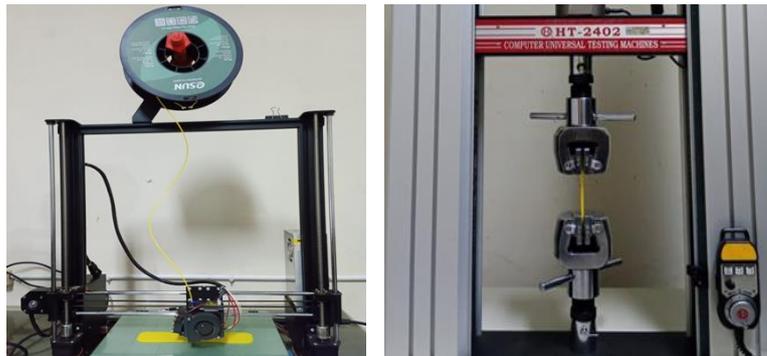
Tabel 2. Nilai parameter proses yang divariasikan

Faktor	Parameter Proses	Level		
		1	2	3
A	<i>Infill Pattern</i>	<i>Grid</i>	<i>Tri-hexagon</i>	<i>Triangles</i>
B	<i>Layer Height</i>	0.10	0.20	0.30
C	<i>Infill Density</i>	25%	50%	75%

Prosedur Penelitian

Proses pertama yang dilakukan yaitu mencetak spesimen. Pembuatan spesimen diawali dengan menggambar objek 3D, setelah spesimen uji tarik selesai dibuat dan disimpan dalam format STL. Maka selanjutnya adalah proses slicing menggunakan *software slicing*, dimana dalam *software* ini dilakukan setting parameter proses.

Kemudian disimpan dalam file dengan format *G-code file*, yang berisi perintah pencetakan yang akan diproses oleh mesin 3D *printing*. Pada penelitian ini proses *slicing* menggunakan *software UltiMaker Cura* untuk melakukan proses *slicing*. Pindahkan file *G-code* pada memori *card* mesin 3D *printing* yang akan dibaca sebagai rangkaian perintah oleh mesin. Berikutnya lakukan *autohome* pada mesin 3D *printing* maka mesin akan melakukan persiapan pencetakan seperti memanaskan *nozzle* dan *bed* setelah mesin selesai melakukan *autohome* mesin akan otomatis memulai pencetakan. Proses selanjutnya masuk pada proses pengujian tarik pada spesimen untuk mengetahui besaran nilai kekuatan tarik pada spesimen. Pengujian tarik menggunakan UTM HT-2402, langkah pertama yang dilakukan dalam pengujian tarik yaitu dengan memasukkan parameter pengujian pada software UTM, seperti metode pengujian untuk metode pengujian menggunakan ASTM D638 Tipe I, kecepatan tarik sebesar 0.5 mm/s, luas penampang kemudian pasang penjepit spesimen pada mesin UTM. Selanjutnya lakukan pengujian tarik dengan menarik spesimen hingga putus. Proses pencetakan dan pengujian tarik ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Proses Pencetakan Dan Pengujian Tarik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pencetakan

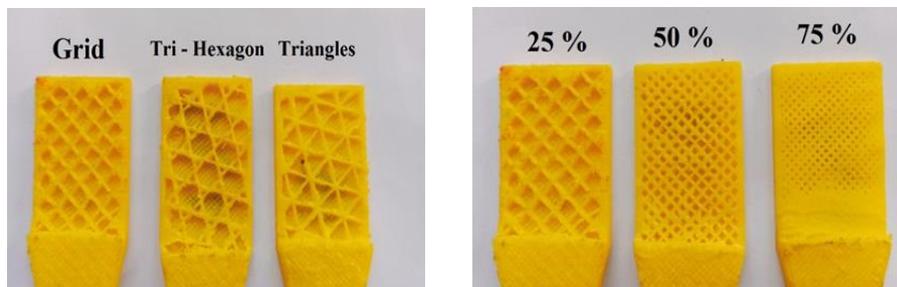
Penelitian secara garis besar dilakukan menjadi tiga tahap, yaitu proses pencetakan, pengujian tarik, dan analisis data. Spesimen dicetak sebanyak 27 buah dengan standar ASTM D638 Tipe I menggunakan mesin 3D *Printer Annet A 8+*. Hasil pencetakan ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 3. Hasil Pencetakan Spesimen.

Setiap parameter proses yang divariasikan memiliki tiga level untuk setiap parameter. Parameter *infill pattern* terdiri dari *Grid*, *Tri-Hexagon*, dan *Triangles*.

Parameter *infill density* terdiri dari 25%, 50%, dan 75%, serta perbedaan *infill pattern* pada spesimen ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Perbedaan Infill Pattern Dan Infill Density

Dalam pencetakan spesimen, selain parameter proses yang divariasikan seperti yang terdapat pada tabel 2. Parameter lainnya menggunakan menggunakan parameter *default* pada *softwaree ultimaker cura*. Adapun parameter *default* ditampilkan dalam tabel 3.

Tabel 3. Parameter Default

<i>Parameters</i>	<i>Value</i>
<i>Wall Thickness</i>	0.8
<i>Wall Line Count</i>	2
<i>Nozzle Temperature</i>	210 °C
<i>Bed Temperature</i>	60 °C
<i>Print Speed</i>	50 mm/s
<i>Build Plate Adhesion</i>	<i>Raft</i>

Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan sesuai dengan standar ASTM D638, dengan kecepatan pengujian 0.5 mm/menit. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui besaran nilai *tensile strength* dari spesimen. Dari pengujian tarik menghasilkan beberapa jenis patahan pada spesimen. Patahan yang terjadi pada spesimen tergolong getas, tidak terlihat regangan atau pengecilan disekitar patahan spesimen seperti patahan ulet. Proses terjadinya patahan tidak menunjukkan deformasi material yang signifikan, dimana patahan terjadi secara tiba – tiba sehingga spesimen patah total. Parameter *infill density* yang lebih tinggi menghasilkan patahan yang lebih rapi dibandingkan dengan spesimen yang menggunakan *infill density* yang lebih rendah. Parameter *infill density* 75% menghasilkan patahan yang getas dan lebih rapi dibandingkan *infill density* 25% karena persentase material penyusunnya lebih tinggi sehingga spesimen menjadi kokoh karena rongga didalamnya lebih sedikit, maka dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik spesimen. Perbedaan patahan spesimen ditunjukkan pada gambar 5.



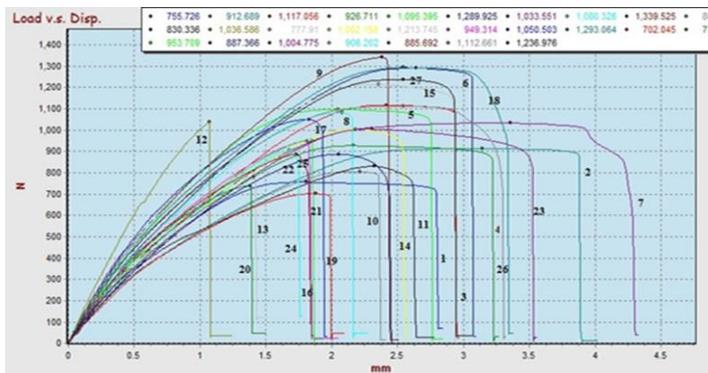
Gambar 5. Patahan spesimen uji tarik

Berikut hasil pengujian tarik ditampilkan pada tabel 4.

Tabel.4 Data Hasil Uji Tarik

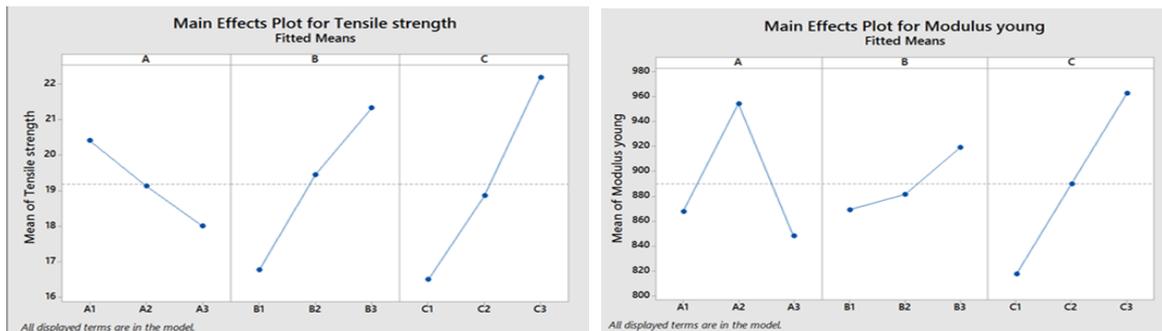
No	Max force (N)	Tensile strength (N/mm ²)	No	Max force (N)	Tensile strength (N/mm ²)
1	755.726	14.53	15	1213.74	23.34
2	912.689	17.55	16	949.314	18.26
3	1117.05	21.48	17	1050.50	20.20
4	926.711	17.82	18	1293.06	24.87
5	1095.39	21.07	19	702.045	13.50
6	1289.92	24.81	20	738.774	14.21
7	1033.55	19.88	21	953.709	18.34
8	1080.32	20.78	22	887.366	17.06
9	1339.52	25.76	23	1004.77	19.32
10	804.175	15.46	24	906.202	17.43
11	830.336	15.97	25	885.692	17.03
12	1036.58	19.93	26	1112.66	21.40
13	777.910	14.96	27	1236.97	23.79
14	1002.15	19.27			

Berdasarkan pengujian tarik yang dilakukan, maka didapatkan nilai kekuatan tarik tertinggi dan terendah dengan satuan N/mm^2 . Kekuatan tarik paling tinggi terdapat pada percobaan ke 9 dengan variasi parameter proses *infill pattern grid*, *layer height* 0.30 mm, *infill density* 75% menghasilkan nilai *tensile strength* sebesar $25.76 N/mm^2$. dan *Fmax* berada pada 1339.52 N. Kekuatan tarik paling rendah berada pada percobaan ke 19 dengan variasi parameter proses *infill pattern Triangles*, *layer height* 0.10 mm, *infill density* 25% menghasilkan nilai *tensile strength* sebesar $13.50 N/mm^2$. dan *Fmax* berada pada 702.045 N. Berikut akan ditampilkan kurva pengujian tarik semua spesimen pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hasil Uji Tarik

Kurva diatas merupakan data mentah dari pengujian tarik spesimen. menampilkan pertambahan panjang dan nilai kekuatan tarik dari masing – masing spesimen. Pengujian tarik menghasilkan nilai kekuatan tarik dan *modulus young* yang menunjukkan kekuatan serta elastisitas spesimen. Agar lebih mudah dalam melakukan perbandingan hasil kekuatan tarik dan *modulus young* spesimen. Maka kekuatan tarik dan *modulus young* akan dikelompokkan berdasarkan parameter proses yang divariasikan. Kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui perbandingan antara kekuatan tarik dan modulus young dari setiap spesimen. Berikut *grafik main effect* untuk kekuatan tarik dan *modulus young* ditampilkan dalam gambar 7.



Gambar 7. Grafik Main effects Kekuatan tarik dan modulus young.

Tabel 5. Parameter Main Effect Plot

<i>Infill pattern</i>	<i>Layer height</i>	<i>Infill density</i>
A1 : <i>Grid</i>	B1 : 0,10 mm	C1 : 25%
A2 : <i>Tri-Hexagon</i>	B2 : 0,20 mm	C2 : 50%
A3 : <i>Triangles</i>	B3 : 0,30 mm	C3 : 75%

Pembahasan

Pada gambar 7 diketahui besar kekuatan tarik dan *modulus young* untuk setiap level parameter proses yang digunakan. Pada grafik kekuatan tarik yang terdapat pada gambar 7 parameter proses *infill pattern* jenis *grid* (A1) memberikan kekuatan tarik paling besar dibandingkan *infill pattern* jenis *tri-hexagon* (A2) dan *triangles*(A3), sedangkan pada *grafik main effect modulus young* parameter proses *infill pattern* jenis *tri-hexagon* (A2) memberikan *modulus young* paling tinggi dibandingkan dengan parameter proses *infill pattern* jenis *grid* (A1) dan (A3) *triangles*. *Modulus young* merupakan besar gaya yang dibutuhkan untuk membuat benda bertambah panjang. Semakin besar *modulus young* material maka semakin rendah elastisitas material tersebut. Dengan kata lain parameter proses *infill pattern* jenis *tri-hexagon* (A2) lebih getas, sedangkan *infill pattern* jenis *triangles* (A3) merupakan yang paling elastis dengan nilai *modulus young* paling kecil. Berdasarkan uraian diatas dapat diketahui bahwa *infill pattern* jenis *grid* (A1) menghasilkan kekuatan tarik paling tinggi namun masih menghasilkan spesimen yang elastis. Parameter *infill pattern* jenis *tri-hexagon* (A2) menghasilkan spesimen yang elastis namun tidak menghasilkan kekuatan tarik paling tinggi. Parameter *infill pattern triangles* (A3) menghasilkan spesimen paling elastis namun menghasilkan kekuatan tarik yang paling rendah.

Pada parameter proses *layer height* kekuatan tarik tertinggi dihasilkan oleh *layer height* (B3) sebesar 0.30 mm, sedangkan kekuatan tarik paling rendah dihasilkan oleh *layer height* (B1) 0,10 mm. Pada grafik *modulus young*, *layer height* (B3) 0.30 mm menghasilkan *modulus young* paling tinggi sementara *modulus young* paling rendah dihasilkan *layer height* (B1) 0.10 mm. Berdasarkan kedua grafik tersebut dapat dipahami bahwa semakin besar nilai *layer height* yang digunakan maka nilai kekuatan tarik akan semakin tinggi dan semakin besar nilai *layer height* yang digunakan maka elastisitas produk akan semakin menurun. Pada parameter proses *infill density* kekuatan tarik paling tinggi dihasilkan oleh *infill density* (C3) 75% dibandingkan dengan *infill density* (C2) 50% dan (C1) 25%. Pada grafik *modulus young* menunjukkan bahwa *infill density* (C3) 75% juga menghasilkan *modulus young* paling tinggi. Perbandingan kekuatan tarik dan *modulus young* pada parameter proses *infill density* menghasilkan bahwa semakin besar *infill density* maka kekuatan tarik yang dihasilkan akan semakin tinggi serta semakin tinggi *infill density* yang digunakan maka elastisitas produk akan semakin rendah.

Besar kontribusi yang diberikan oleh setiap parameter proses dihitung menggunakan *analysis of varians* (ANOVA). Penggunaan analisis varians dilakukan dengan cara pengelompokan hasil penelitian secara statistik sesuai sumber varians. Dalam analisis varians terdapat beberapa klasifikasi yang dihitung yaitu ST (jumlah kuadrat total data), Mq, Sq (setiap faktor), Sqe (*sum square error*), St (jumlah kuadrat total sesungguhnya), F-ratio, Sqt', p% (persen kontribusi). Nilai untuk *critical significant* adalah 0.05 atau 5%, yang berarti bahwa penelitian ini mentoleransi atau menerima 0.05 kemungkinan kesalahan dalam melakukan pengklasifikasian faktor penting (F), dan faktor signifikan (P) pada penelitian. Berikut perhitungan ANOVA pada hasil uji tarik ditampilkan di tabel 6.

Tabel 6. Hasil perhitungan ANOVA

Source	Df	Sq	F-ratio	P-value	p%
<i>Infill Pattern</i>	2	25,94	0,823	0,004	7,62
<i>Layer height</i>	2	94,34	2,99	0,000	30,49
<i>Infill density</i>	2	147,32	4,67	0,000	48,20
e	20	31,49	1,00		13,67
St	26	299,09			100
Mean		9.942,91			
ST		10.242			

Tabel 7. Signifikan Parameter Proses Kekuatan Tarik

Faktor	H1	H0	P-value
<i>Infill pattern</i>	Diterima	Gagal diterima	0,004 Signifikan
<i>Layer height</i>	Diterima	Gagal diterima	0,000 Signifikan
<i>Infill density</i>	Diterima	Gagal diterima	0,000 Signifikan

Berdasarkan data yang ditampilkan pada tabel 6 dapat diketahui nilai *P-value*, dan persen kontribusi (p%) parameter proses terhadap kekuatan tarik. Tabel tersebut menunjukkan bahwa parameter proses *Infill density* memiliki kontribusi paling tinggi terhadap kekuatan tarik yaitu sebesar 48,20%. *Layer height* berada pada urutan kedua sebagai parameter yang mempengaruhi kekuatan tarik dengan pengaruh sebesar 30,49%. Sedangkan *infill pattern* sebagai parameter yang paling sedikit mempengaruhi kekuatan tarik dengan kontribusi sebesar 7,62 %. Pada tabel 6 dapat diketahui bahwa parameter proses *infill pattern*, *layer height*, dan *infill density* secara signifikan mempengaruhi respon kekuatan tarik karena memiliki nilai *P-value* tidak melebihi nilai dari α (alpha error) sehingga H_0 gagal diterima, maka terdapat pengaruh perlakuan pada faktor.

SIMPULAN

Berisi Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: Parameter proses 3D *printing* yang paling berpengaruh secara

berturut-turut terhadap kekuatan tarik spesimen menggunakan material PLA adalah *infill density*, *layer height* dan *infill pattern* dengan kontribusi sebesar 48,20%, 30,49%, dan 7,62% berdasarkan analisis ANOVA. Nilai kekuatan tarik paling besar yaitu 25,76 N/mm² dengan max force sebesar 1339,52 N dan nilai kekuatan tarik paling rendah yaitu 13,50 N/mm² dengan max force sebesar 702,45 N. Kombinasi parameter proses yang paling optimum untuk pengujian tarik yaitu *infill pattern* (Grid), *layer Height* (0,30 mm), *infill density* (75%).

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Naufal, Amin Nur Akhmadi, M. T. Q. (2021). Pengaruh Variasi Kecepatan Terhadap Kesesuaian Dimensi Universal Joint Hasil Cetak Mesin 3D Printer. *x(x)*, 3–6.
- Berril, H. R., Rifelino., Mulianti., & Yufrizal A. (2022). Pengaruh Parameter Cetak 3D Printing Terhadap Kekuatan Bending Filamen Polylactic Acid. *Jurnal Vokasi Mekanikal*. Vol.4, No.4
- Budiman, W., Anggono, J., & Tanoto, Y. (2016). Pengaruh Orientas Obyek Hasil Fused Deposition Modeling Pada Waktu Proses. *Jurnal Teknik Mesin*, 16(2), 41–46. <https://doi.org/10.9744/jtm.16.2.41-46>
- Cahyati, S., & Furqon, Y. Al. (2022). The Layer Height Variations Effect On Tensile Strength Of 3D Printing Product Pla Material Based. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13(3), 647–657. <https://doi.org/10.21776/jrm.v13i3.823>
- Dhinesh, S. K. Arun Prakash, S. Senthil Kumar, K. L. Megalingam, A. (2021). Study on flexural and tensile behavior of PLA, ABS and PLA-ABS materials. *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/1175 – 1180>. 10.1016/j.matpr.2020.03.546
- Dira. N., Rifelino., Purwantono., Febri. P. (2021). Optimalisasi Kekuatan Bending Hasil 3d Printing Menggunakan Metode Response Surface Pada Filamen Pla (Poly Lactic Acid). *Jurnal Vokasi Mekanikal*. Vol.3, No.3.
- Fradika, P. B., Zaldy, S. S., Yudi. O. (2021). Pengaruh Infill Geometri, Printing Speed dan Nozzle Temperature Terhadap Kekuatan Impak Menggunakan Filament ST PLA.
- Ismianti, & Herianto. (2018). Framework Prediksi Penggunaan 3D Printing Di Indonesia Pada Tahun 2030. *Seminar Nasional IENACO*, ISSN 2337-(2013), 546–553.
- Kristiawan, R. B., Imaduddin, F., Ariawan, D., Ubaidillah, & Arifin, Z. (2021). A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters. In *Open Engineering* (Vol. 11, Issue 1, pp. 639–649). De Gruyter Open Ltd. <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0063>
- Lubis, S., Taufiqurrahman, M., & Ivanto, M., Gita S. L. (2021). Analisa Pengaruh Parameter Proses Terhadap Uji Tarik Produk Hasil 3D Printing Berbahan Polylactic Acid. *Jurnal Engine : Energi, Manufaktur, Dan Material*, 5(2), 39–44.
- Mohamed, O. A., Masood, S. H., & Bhowmik, J. L. (2015). Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects. *Advances in Manufacturing*, 3(1), 42–53. <https://doi.org/10.1007/s40436-014-0097-7>

- Muhammad Taqdierul Aziz. (2018). Analisis Pengaruh Parameter Proses Produk 3D Printing Material ABS Terhadap Respon Akurasi Dimensi dan Kekuatan Tarik Menggunakan Metode Taguchi (Issue 2015). <http://repository.umy.ac.id/handle/123456789/22672>
- Rayna T & Striukova L. (2016). From Rapid Prototyping to Home Fabrication: How 3D Printing is Changing Business Model Innovation. *Technological Forecasting and Social Change*.102, 214 – 224. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.023>
- Sutisna, N. A., & Fattah, R. A. (2021). Effect Of Extrusion Process Parameters On Mechanical Properties Of 3d Printed Pla Product. In *Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics* (Vol. 6, Issue 2).
- Taufik, I., Budiono, H. S., Herianto, H., & Andriyansyah, D. (2020). Pengaruh Printing Speed Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Hasil Additive Manufacturing Dengan Polylactic Acid Filament. *Journal of Mechanical Engineering*, 4(2), 15–20. <https://doi.org/10.31002/jom.v4i2.3412>