

ANALISIS PADA PROSES 3D PRINTER TERHADAP PENGUJIAN TARIK MENGGUNAKAN FILAMEN PLA PRO

Riskullah Dirga Trisaplin¹, Zaldy Sirwansyah Suzen², Subkhan³

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Email: riskullah.dirga@yahoo.com, syahdika99@gmail.com, subilailhan@gmail.com

Abstrak

Hadirnya Revolusi Industri 4.0 menyebabkan teknologi di bidang industri manufaktur berkembang sangat pesat, salah satunya mesin *Rapid Prototyping* dengan teknologi FDM yang merupakan mesin cetak 3 dimensi dengan prinsip pencetakan secara *additive manufacturing* informasi mengenai parameter proses yang dapat menghasilkan suatu produk 3D dengan kekuatan tarik secara ideal di Indonesia sangat minim, mengingat informasi tersebut sangat diperlukan dunia industri, sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik serta parameter proses yang ideal dengan menggunakan filamen PLA PRO Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen faktorial, penelitian ini menggunakan mesin 3D printer Anet Et4, nozzle berukuran 0,4 mm, variasi parameter yang digunakan yaitu 3 level nozzle temperature, 15 infill pattern berdasarkan software Prusaslicer 2.3 dan orientasi sudut pencetakan vertikal 0°. Sehingga menghasilkan 45 kombinasi eksperimen. Hasil dari pengujian tarik tertinggi sebesar 44,2 yang terdapat pada eksperimen nomor 10 infill pattern 3D Honeycomb, Nozzle Temperature 210°C, sudut pencetakan vertikal 0°. Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada eksperimen nomor 43 dengan parameter infill Pattern Archimedean Chord, Nozzle Temperature 220°C, sudut pencetakan vertikal 0°, dengan nilai kekuatan tarik sebesar 15,7 MPa. Sehingga dapat disimpulkan parameter proses tersebut mempengaruhi hasil dari pencetakan produk 3D printing.

Kata kunci: (3D Printer; Rapid Prototyping; FDM; Nozzle Temperature; Infill Pattern)

Abstract

The presence of the Industrial Revolution 4.0 has caused technology in the manufacturing industry to develop very rapidly, one of which is the machine Rapid Prototyping with FDM technology which is a 3-dimensional printing machine with the principle of printing additive manufacturing information on process parameters that can produce a 3D product with ideal tensile strength in Indonesia is very minimal, considering that this information is needed by the industrial world, so this study aims to determine the value of tensile strength and ideal process parameters using PLA PRO filament The method used in this study is the factorial experimental method, this study uses the 3D printer Anet Et4 machine. , nozzle measuring 0.4 mm, the parameter variations used are 3 levels nozzle temperature, 15 infill patterns based on software Prusaslicer 2.3 and 0° vertical

printing angle orientation. This results in 45 experimental combinations. The results of the highest tensile test of 44.2 were found in experiment number 10 infill pattern 3D Honeycomb, Nozzle Temperature 210°C, vertical printing angle of 0. While the lowest tensile strength value is found in experiment number 43 with parameters infill Archimedean Chord Pattern, Nozzle Temperature 220°C, vertical molding angle of 0, with a tensile strength value of 15.7 MPa. So it can be concluded that these process parameters affect the results of printing 3D products printing.

Keywords: (3D Printer; Rapid Prototyping; FDM; Nozzle Temperature; Infill Pattern)

Pendahuluan

Hadirnya, Revolusi industri 4.0 (Candra, 2021) membuat dunia industri bersaing sangat ketat, munculnya printer 3D sebagai terobosan mulai digemari di dunia industri manufaktur Indonesia, proses pembuatan prototipe yang umumnya memakan waktu lama bisa dikerjakan dengan singkat (Riza, Budiyanoro, & Nugroho, 2020), Saat ini sedikit sekali informasi mengenai hasil 3D printing di Indonesia, seperti kekasaran, akurasi, kekuatan tarik, dan lain sebagainya. Agar hasil *prototype* di buat sesuai dengan harapan maka informasi seperti itu sangat penting untuk di ketahui.

3D Printer adalah teknik *Additive Manufacturing* (AM) untuk membuat berbagai macam struktur dan geometri kompleks dari data model tiga dimensi (3D) (Saputra, Herianto, & Pamasaria, 2019). Proses pencetakan terdiri dari lapisan-lapisan bahan yang berhasil dibentuk di atas satu sama lain (Mohamed, Masood, & Bhowmik, 2015) Sehingga, memungkinkan untuk membuat bentuk apa pun yang sangat sulit dibuat dengan tangan, dan juga telah digunakan di berbagai industri, termasuk kesehatan, sains, pembuatan prototipe, konstruksi, dan biomekanik. (Prasnowo, Fendiastuti, & Utami, 2020) Teknologi 3D Printer yang terkenal salah satunya adalah *Fused Deposition Modelling* (FDM), FDM telah banyak digunakan dalam teknologi manufaktur aditif yang menyediakan prototipe fungsional dalam berbagai termoplastik karena kemampuannya untuk menghasilkan bagian geometris kompleks dengan rapi dan aman lingkungan. (Mohamed et al., 2015). Material Filamen menjadi bahan utama dalam pembuatan produk 3D Printing yang berfungsi sebagai bahan inti dalam proses pencetakan. Mengacu pada (Grabowik, Kalinowski, Ćwikła, Paprocka, & Kogut, 2017) ada beberapa jenis filamen yang biasa digunakan pada printer 3D, seperti *polyethylene terephthalate glycol* (PETG), *nylon*, *polylactic acid* (PLA), *polycarbonate* (PC), dan *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), dan lain-lain.

Pada Penelitian yang dilakukan oleh (Yao, Deng, Zhang, & Li, 2019) penulis tersebut meneliti mengenai pengaruh parameter kekuatan tarik sehingga mendapatkan hasil yang optimal pada hasil pencetakan produk 3D Printing dengan menggunakan material filamen PLA. Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah sudut pencetakan dan *layer thickness* dimana sudut yang digunakan yaitu 0°, 15°, 30°, 45°, 75°, dan 0° dengan variasi 3 level pada *layer thickness*. Dari penelitian ini peneliti menarik kesimpulan bahwa kekuatan tarik produk 3D Printing mengalami perubahan

yang signifikan dimana nilai GAP terbesar berada diantar sudut $0^\circ - 0^\circ$ dengan *layer thickness* sebesar 0,1 mm. Nilai gap yang terdapat pada sudut $0^\circ - 0^\circ$ dengan *layer thickness* sebesar 0,1 mm adalah 52,29%.

Penelitian yang dilakukan oleh (Suzen, 2020) berfokus untuk mengetahui pengaruh *infill pattern* serta *Nozzle Temperature* terhadap pengujian kekuatan tarik hasil pencetakan produk 3D *Printing* dengan menggunakan material filamen PLA+ ESUN. Peneliti melakukan variasi terhadap parameter yang digunakan seperti *Nozzle Temperature* dengan 3 level suhu yang berbeda yaitu 225 °C 205 °C, dan 215 °C, *layer thickness* dengan ketebalan sebesar 0,2 mm, *bed Temperature* dengan suhu 60 °C, *travel speed* dengan kecepatan sebesar 100 mm/s, *Printing speed* dengan kecepatan sebesar 50 mm/s dan 13 *infill pattern*, adapun *infill pattern* yang digunakan yaitu *cross 3D*, *cubic*, *concentric*, *grid*, *gyroid*, *lines*, *octet*, *quarter cubic*, *triangles*, *tri hexagon*, *cubic division*, dan *zig zag*, dalam penelitiannya metode yang digunakan yaitu metode faktorial, faktor yang satu dikalikan dengan faktor yang lainnya sehingga menghasilkan 39 spesimen uji. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa kekuatan tarik filamen PLA+ ESUN dipengaruhi oleh *Nozzle Temperature* dan *infill pattern* dengan nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 43,20 MPa dimana parameter yang digunakan yaitu *infill pattern* dengan variasi *concentric* dengan suhu yang digunakan pada *Nozzle* sebesar 215 °C.

Dalam studi literatur, berbagai metode dapat digunakan untuk menentukan kualitas suatu produk. Metode yang paling umum adalah pengujian tarik terhadap uji spesimen, yang menggunakan parameter proses seperti sudut pencetakan, pola pengisian, lebar ekstrusi, dan suhu nozzle. Penulis akan melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh pola infill dan Temperatur Nozzle terhadap kekuatan tarik produk 3D *Printing* dengan arah sudut pencetakan vertikal 0° menggunakan filamen polylactic acid PRO (PLA PRO) untuk mengetahui nilai kekuatan tarik.

Metode Penelitian

Proses pencetakan spesimen uji dilakukan menggunakan mesin 3D *printer* model PRUSA merk Anet Et4, *printing area* X, Y, Z sebesar 220 mm x 220 mm x 250 mm, menggunakan ukuran nozzle 0,4 mm, material filamen PLA PRO merek R3D MAKER dengan diameter 1,75 mm, serta menggunakan mesin uji tarik merek Zwick Roell Z020 type Xforce K.

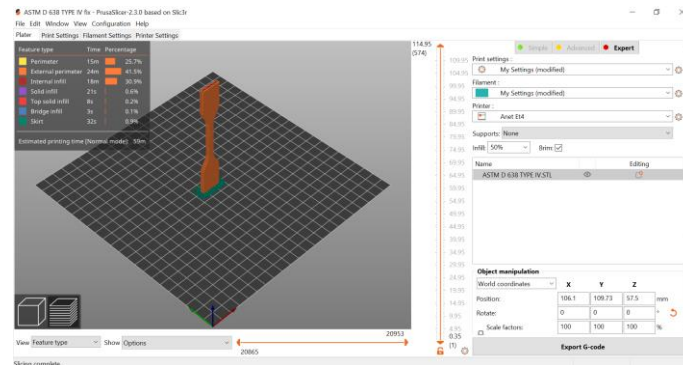
Metode pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen faktorial, parameter yang digunakan ialah *nozzle temperature* dan *infill pattern*, untuk menentukan kombinasi parameter maka dilakukan perkalian antara 3 level suhu *nozzle* dengan 15 tipe *infill*, sehingga menghasilkan 45 kombinasi pencetakan yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 Kombinasi Parameter Pencetakan

<i>Exp. No</i>	<i>Nozzle temperature (°C)</i>	<i>Layer thickness (mm)</i>	<i>Bed temperature (°C)</i>	<i>Travel Speed (mm/s)</i>	<i>Printing Speed (mm/s)</i>	<i>Orient asi vertikal (°)</i>	<i>Infill density (%)</i>	<i>Infill patern</i>
1	210	0.2	60	100	40	0	80	Rectilinear
2	210	0.2	60	100	40	0	80	Aligned Rectilinear
3	210	0.2	60	100	40	0	80	Grid
4	210	0.2	60	100	40	0	80	Triangles
5	210	0.2	60	100	40	0	80	Stars
6	210	0.2	60	100	40	0	80	Cubic
7	210	0.2	60	100	40	0	80	Line
8	210	0.2	60	100	40	0	80	Concentric
9	210	0.2	60	100	40	0	80	Honeycomb
10	210	0.2	60	100	40	0	80	3D Honeycomb
11	210	0.2	60	100	40	0	80	Gyroid
12	210	0.2	60	100	40	0	80	Hilbert Curve
13	210	0.2	60	100	40	0	80	Archimedean Chords
14	210	0.2	60	100	40	0	80	Octagram Spiral
15	210	0.2	60	100	40	0	80	Adaptive Cubic
16	220	0.2	60	100	40	0	80	Rectilinear
17	220	0.2	60	100	40	0	80	Aligned Rectilinear
18	220	0.2	60	100	40	0	80	Grid
19	220	0.2	60	100	40	0	80	Triangles
20	220	0.2	60	100	40	0	80	Stars
21	220	0.2	60	100	40	0	80	Cubic
22	220	0.2	60	100	40	0	80	Line
23	220	0.2	60	100	40	0	80	Concentric
24	220	0.2	60	100	40	0	80	Honeycomb
25	220	0.2	60	100	40	0	80	3D Honeycomb
26	220	0.2	60	100	40	0	80	Gyroid
27	220	0.2	60	100	40	0	80	Hilbert Curve
28	220	0.2	60	100	40	0	80	Archimedean Chords
29	220	0.2	60	100	40	0	80	Octagram Spiral
30	220	0.2	60	100	40	0	80	Adaptive Cubic
31	230	0.2	60	100	40	0	80	Rectilinear
32	230	0.2	60	100	40	0	80	Aligned Rectilinear
33	230	0.2	60	100	40	0	80	Grid
34	230	0.2	60	100	40	0	80	Triangles
35	230	0.2	60	100	40	0	80	Stars
36	230	0.2	60	100	40	0	80	Cubic
37	230	0.2	60	100	40	0	80	Line
38	230	0.2	60	100	40	0	80	Concentric
39	230	0.2	60	100	40	0	80	Honeycomb
40	230	0.2	60	100	40	0	80	3D Honeycomb
41	230	0.2	60	100	40	0	80	Gyroid
42	230	0.2	60	100	40	0	80	Hilbert Curve
43	230	0.2	60	100	40	0	80	Archimedean Chords

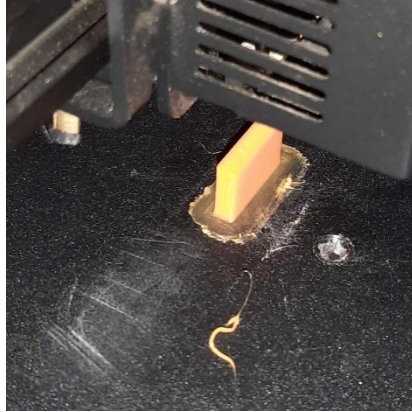
<i>Exp. No</i>	<i>Nozzle temperature (°C)</i>	<i>Layer thickness (mm)</i>	<i>Bed temperature (°C)</i>	<i>Travel Speed (mm/s)</i>	<i>Printing Speed (mm/s)</i>	<i>Orient asi vertikal (°)</i>	<i>Infill density (%)</i>	<i>Infill patern</i>
44	230	0.2	60	100	40	0	80	Octagram Spiral
45	230	0.2	60	100	40	0	80	Adaptive Cubic

Pada penelitian ini untuk menentukan parameter proses yang digunakan diawali dengan studi literatur dan spesifikasi filamen PLA PRO, kemudian proses pembuatan model spesimen dilakukan dengan bantuan *software* gambar 3D dengan acuan ASTM D638-14 Tipe 4 sebagai dasarnya, file gambar disimpan dalam format STL (*.stl). Selanjutnya masuk ke tahap *slicing* dalam penelitian ini menggunakan PrusaSlicer 2.3 yang berfungsi untuk menghasilkan perintah pemrograman atau *G-code*, Proses Slicing ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Proses Slicing

Selanjutnya tahap persiapan penelitian seperti memasang filamen, melakukan proses kalibrasi mesin 3D *printer* untuk menghindari kemiringan pada *bed*, memasukan *MicroSD* yang berisi *G-code* ke dalam mesin, serta melakukan pengaturan terhadap *nozzle temperature* dan *bed temperature*. Setelah proses persiapan penelitian selesai dilanjutkan dengan melakukan pencetakan spesimen uji sebanyak 45 spesimen sesuai dengan kombinasi parameter pencetakan yang telah ditentukan. Proses pencetakan dapat dilihat pada gambar 2



Gambar 2 Proses Pencetakan Spesimen uji

Setelah proses pencetakan spesimen uji selesai dilaksanakan, kemudian dilakukan proses pengujian tarik untuk mengetahui nilai kekuatan tarik pada spesimen uji. Pada penelitian ini pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik merek Zwick Roell Z020 type Xforce K.



Gambar 3 Proses Pengujian Tarik

Hasil dan Pembahasan

Hasil Uji Tarik

Setelah dilaksanakannya proses perlakuan uji tarik menggunakan mesin Zwick Roell Z020 tipe Xforce K pada spesimen uji berstandar ASTM D638-14 Tipe IV berbahan material PLA PRO, maka didapatkan hasil yang bervariasi pada setiap spesimen dengan parameter bebas seperti *Nozzle temperature*, 15 tipe *Infill Pattern* serta sudut orientasi pencetakan. Hasil nilai kuat tarik dapat dilihat pada tabel 2.

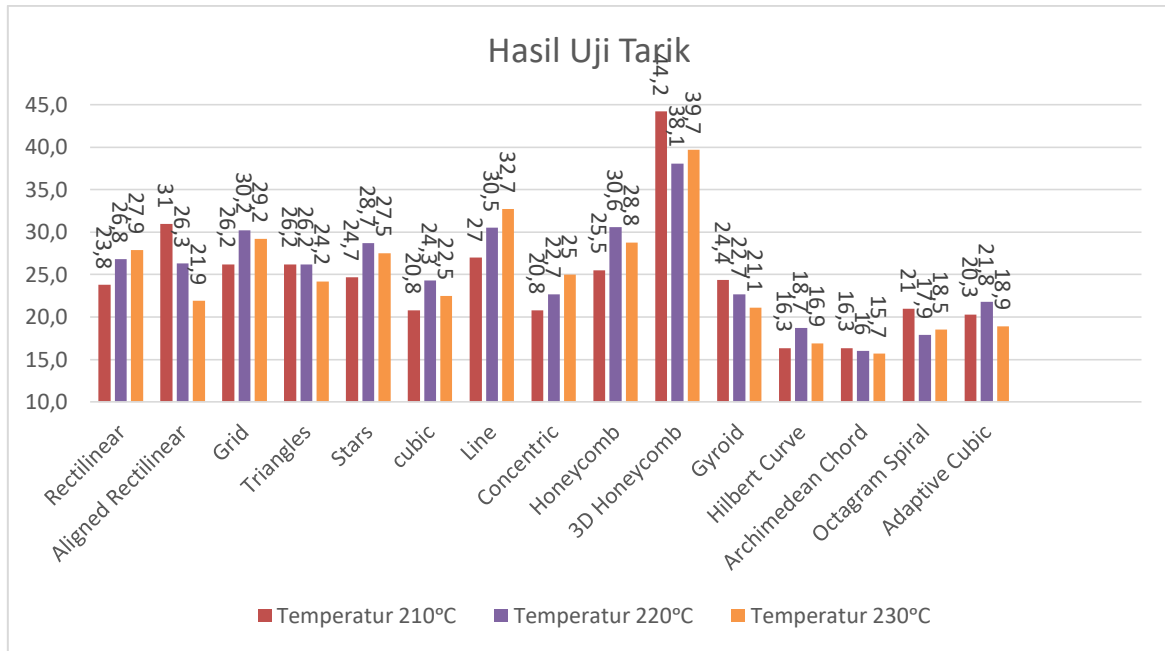
Tabel 2 Hasil Uji Tarik

<i>Exp. No</i>	<i>Nozzle temperature (°C)</i>	<i>Layer thickness (mm)</i>	<i>Bed temperature (°C)</i>	<i>Travel Speed (mm/s)</i>	<i>Printing Speed (mm/s)</i>	<i>Orientasi vertikal (°)</i>	<i>Infill density (%)</i>	<i>Infill patern</i>	<i>Hasil pengujian</i>
1	210	0.2	60	100	40	0	80	Rectilinear	23.8
2	210	0.2	60	100	40	0	80	Aligned Rectilinear	31.0
3	210	0.2	60	100	40	0	80	Grid	26.2
4	210	0.2	60	100	40	0	80	Triangles	25.2
5	210	0.2	60	100	40	0	80	Stars	24.7
6	210	0.2	60	100	40	0	80	Cubic	20.8
7	210	0.2	60	100	40	0	80	Line	27.0
8	210	0.2	60	100	40	0	80	Concentric	20.8
9	210	0.2	60	100	40	0	80	Honeycomb	27.1
10	210	0.2	60	100	40	0	80	3D Honeycomb	44.2
11	210	0.2	60	100	40	0	80	Gyroid	24.4
12	210	0.2	60	100	40	0	80	Hilbert Curve	16.3
13	210	0.2	60	100	40	0	80	Archimedean Chords	16.0
14	210	0.2	60	100	40	0	80	Octagram Spiral	21.0
15	210	0.2	60	100	40	0	80	Adaptive Cubic	20.3
16	220	0.2	60	100	40	0	80	Rectilinear	26.8
17	220	0.2	60	100	40	0	80	Aligned Rectilinear	26.3
18	220	0.2	60	100	40	0	80	Grid	29.8
19	220	0.2	60	100	40	0	80	Triangles	26.2
20	220	0.2	60	100	40	0	80	Stars	28.7
21	220	0.2	60	100	40	0	80	Cubic	24.3
22	220	0.2	60	100	40	0	80	Line	30.5
23	220	0.2	60	100	40	0	80	Concentric	22.7
24	220	0.2	60	100	40	0	80	Honeycomb	30.6
25	220	0.2	60	100	40	0	80	3D Honeycomb	38.1
26	220	0.2	60	100	40	0	80	Gyroid	22.7
27	220	0.2	60	100	40	0	80	Hilbert Curve	18.7

<i>Exp. No</i>	<i>Nozzle temperature (°C)</i>	<i>Layer thickness (mm)</i>	<i>Bed temperature (°C)</i>	<i>Travel Speed (mm/s)</i>	<i>Printing Speed (mm/s)</i>	<i>Orientasi vertikal (°)</i>	<i>Infill density (%)</i>	<i>Infill pattern</i>	<i>Hasil pengujian</i>
28	220	0.2	60	100	40	0	80	Archimedean Chords	16.0
29	220	0.2	60	100	40	0	80	Octagram Spiral	17.9
30	220	0.2	60	100	40	0	80	Adaptive Cubic	21.8
31	230	0.2	60	100	40	0	80	Rectilinear	27.9
32	230	0.2	60	100	40	0	80	Aligned Rectilinear	21.8
33	230	0.2	60	100	40	0	80	Grid	29.2
34	230	0.2	60	100	40	0	80	Triangles	24.2
35	230	0.2	60	100	40	0	80	Stars	27.5
36	230	0.2	60	100	40	0	80	Cubic	22.5
37	230	0.2	60	100	40	0	80	Line	32.7
38	230	0.2	60	100	40	0	80	Concentric	25.0
39	230	0.2	60	100	40	0	80	Honeycomb	28.8
40	230	0.2	60	100	40	0	80	3D Honeycomb	39.7
41	230	0.2	60	100	40	0	80	Gyroid	21.1
42	230	0.2	60	100	40	0	80	Hilbert Curve	26.9
43	230	0.2	60	100	40	0	80	Archimedean Chords	15.7
44	230	0.2	60	100	40	0	80	Octagram Spiral	18.5
45	230	0.2	60	100	40	0	80	Adaptive Cubic	18.9

Analisa Hasil Uji Tarik

Setelah melaksanakan pengujian tarik terhadap spesimen cetak, diperoleh hasil nilai kekuatan tarik yang terdapat pada tabel 2, kemudian data tersebut diolah ke dalam grafik untuk mempermudah proses analisa, hasil analisa akan menunjukkan nilai kekuatan tarik tertinggi dan terendah, serta pengaruh parameter proses terhadap hasil pengujian tarik spesimen uji ([Hasan, Istana, & Mahbub, 2014](#)). Grafik hasil uji tarik terdapat pada gambar 4.



Gambar 4 Grafik Uji Tarik

Berdasarkan grafik diatas, menyatakan bahwa terdapat perbedaan nilai kekuatan tarik pada *infill pattern*, terhadap varians *nozzle temperature* (Fimansyah, 2017). Secara keseluruhan nilai kekuatan tarik tertinggi ditempati oleh tipe *infill* yang sama yaitu 3D *Honeycomb*, Pada suhu 210°C nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 44,2 Mpa, sedangkan nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada tipe *infill hilbert curve* dan *archimedean chord* sebesar 16,3 Mpa. Pada suhu 220°C nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 38,1, nilai kekuatan tarik terendah terdapat tipe *infill archimedean chord* sebesar 16 Mpa, Pada suhu 230°C nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 39,7 Mpa, dan nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada tipe *infill* yang sama dengan suhu 220°C sebesar 15,7 Mpa.

Grafik juga menunjukan bahwa *infill pattern rectilinear*, *line*, dan *concentric* semakin besar suhu pencetakan maka nilai kekuatan tarik akan meningkat, pada *infill pattern aligned rectilinear*, *gyroid*, dan *archimedean chord* semakin besar suhu pencetakan maka kekuatan tarik akan menurun.

Atas analisa yang telah dilakukan menunjukan bahwa parameter *infill pattern* dan *nozzle temperature* mempengaruhi hasil nilai kekuatan tarik spesimen uji menggunakan filamen PLA PRO.

Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pengolahan data terhadap nilai kekuatan tarik spesimen uji, maka dapat disimpulkan bahwa nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada spesimen nomor 10 *infill pattern 3D Honeycomb*, *nozzle temperature* 210°C sebesar 44,2 Mpa, sedangkan nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada spesimen nomor 43 *infill pattern archimedean chord*, *nozzle temperature* 230°C, parameter proses (*nozzle temperature*

Riskullah Dirga Trisaplin¹, Zaldy Sirwansyah Suzen², Subkhan³

dan *infill pattern*) mempengaruhi hasil pencetakan produk 3D *printing* dengan orientasi sudut pencetakan 0°.

Bibliografi

- Candra, Angga Dwi. (2021). [Analisislean Manufacturing Guna Peningkatan Profit Ukm Sari Kelapa](#). Universitas Muhammadiyah Gresik.
- Fimansyah, Andrian. (2017). [Rancang Bangun Prosthesis Bagian Telapak Tangan untuk Rehabilitasi Penderita Kusta dengan Konsep Personal Fit, Breathable, dan Light Movement](#). Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Grabowik, Cezary, Kalinowski, Krzysztof, Ćwikła, Grzegorz, Paprocka, Iwona, & Kogut, Paweł. (2017). [Tensile tests of specimens made of selected group of the filament materials manufactured with FDM method](#). *MATEC Web of Conferences*, 112, 4017. EDP Sciences.
- Hasan, Indra, Istana, Budi, & Mahbub, Aulia. (2014). [Analisa Kekuatan Tarik Serat Sabut Kelapa dengan Orientasi Serat Pendek Acak yang Dimanfaatkan sebagai Alternatif Dudukan Kaca Spion Kendaraan](#).
- Mohamed, Omar A., Masood, Syed H., & Bhowmik, Jahar L. (2015). [Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects](#). *Advances in Manufacturing*, 3(1), 42–53.
- Prasnowo, M. Adhi, Findiastuti, Weny, & Utami, Issa Dyah. (2020). [Ergonomi Dalam Perancangan Dan Pengembangan Produk Alat Potong Sol Sandal](#). SCOPINDO MEDIA PUSTAKA.
- Riza, Eduar Iqbal, Budiyanoro, Cahyo, & Nugroho, Aris Widyo. (2020). [Peningkatan Kekuatan Lentur Produk 3d Printing Berbahan Petg Dengan Optimasi Parameter Proses Menggunakan Metode Taguchi](#). *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 21(2), 66–75.
- Saputra, Tri Hannanto, Herianto, H., & Pamasaria, Herda Agus. (2019). [Analisa Pengaruh Pemilihan Komponen terhadap Ketelitian Dimensi dan Kualitas Permukaan Produk pada Mesin 3D Printing Jenis FDM \(Fused Deposition Modelling\)](#). IENACO (Industrial Engineering National Conference) 7 2019.
- Suzen, Z. S. (2020). [Pengaruh Tipe Infill dan Temperatur Nozzle terhadap Kekuatan Tarik Produk 3D Printing Filamen Pla+ Esun](#). *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 12(02), 73–80.
- Yao, Tianyun, Deng, Zichen, Zhang, Kai, & Li, Shiman. (2019). [A method to predict the ultimate tensile strength of 3D printing polylactic acid \(PLA\) materials with different printing orientations](#). *Composites Part B: Engineering*, 163, 393–402.