

Pengaruh *Infill Angle* Pada Proses *3D Printing* FDM terhadap *Tensile Strength* Material PLA+

Nur Amalia ^{1*}, Faisal Habib ², Muhammad Balfas ³

1*) Magister Teknik Mesin, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, nuurialea@gmail.com

2) Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, faisalhabib@gmail.com

3) Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, balfas.me.umi@gmail.com

Abstract

In this era of smart machines, technological developments in the world of manufacturing industries continue to advance and develop rapidly, one of which is 3D printing technology. 3D printing is one of the technologies in the industrial revolution 4.0 where objects are created and formed using additive manufacturing processes. The FDM method is a complex process, many parameters of 3D printing affect the mechanical properties. This study aims to determine the effect of infill angle on the tensile strength of PLA + material from the results of the 3D printing process of the FDM technique method. The test specimen was printed based on the ASTM D638 Type IV standard. There were 9 samples tested, each consisting of three samples in one variation of infill angle (0°, 45°, and 90°) of 3D printing. Tensile testing is carried out using the Tensile Testing Machine Universal Material Testing Instrument Tensilon RTF-2425. The experiment examined the main tensile properties: tensile strength, strain, and modulus Young. The results of tensile testing show that the infill angle has an influence on the tensile strength of PLA+ material products produced through the FDM 3D printing process. The highest average tensile strength was obtained in specimens with 90° infill angle at 45.99 MPa, followed by 45° infill angle at 41.91 MPa, and an infill angle of 0° resulting in the lowest average tensile strength value at 41.12 MPa.

Keywords: 3D printing, FDM, infill angle, tensile strength, PLA+.

Abstrak

Di era mesin pintar ini, perkembangan teknologi di dunia industri manufaktur terus maju dan berkembang dengan pesat salah satunya adalah teknologi *3D printing*. *3D printing* merupakan salah satu teknologi dalam revolusi industri 4.0 yang objek dibuat dan dibentuk dengan menggunakan proses manufaktur aditif. Metode FDM adalah proses yang kompleks, banyak parameter pencetakan 3D mempengaruhi sifat mekanik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *infill angle* terhadap kekuatan tarik material PLA+ dari hasil proses *3D printing* metode teknik FDM. Spesimen pengujian dicetak berdasarkan standar ASTM D638 Tipe IV. Terdapat 9 sampel yang diuji, masing-masing terdiri dari tiga sampel dalam satu variasi *infill angle* (0°, 45°, dan 90°) pencetakan 3D. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik Universal Material Testing Instrument Tensilon RTF-2425. Eksperimen ini meneliti sifat-sifat tarik utama: kekuatan tarik, regangan, dan modulus Young. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa *infill angle* memiliki pengaruh terhadap kekuatan tarik produk material PLA+ yang dihasilkan melalui proses *3D printing* FDM. Kekuatan tarik rata-rata tertinggi didapatkan pada spesimen dengan *infill angle* 90° sebesar 45.99 MPa, diikuti *infill angle* 45° sebesar 41.91 MPa, dan *infill angle* 0° menghasilkan nilai kekuatan tarik rata-rata terendah yakni 41.12 MPa.

Kata Kunci: *3D printing*, FDM, *infill angle*, kekuatan tarik, PLA+.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di dunia industri manufaktur terus berkembang dan akan menyebabkan terciptanya suatu persaingan ketat terutama untuk memperoleh suatu proses produksi yang dapat menghasilkan produk dengan berbagai manfaat.

Selama ini proses produksi yang dikenal dan digunakan untuk membuat *prototype* dari suatu produk di industri manufaktur adalah proses manufaktur dengan cara menghilangkan sebagian material dengan menggunakan mesin-mesin perkakas, yang biasanya dikenal sebagai *subtractive manufacturing*. Dewasa ini, industri manufaktur mulai mengembangkan suatu proses produksi yang tidak membuang atau menghilangkan sebagian material, akan tetapi proses yang digunakan adalah dengan menggunakan metode penambahan material, yang dikenal dengan proses *Additive Manufacturing* (AM) (Ardiansyah dkk, 2021), atau yang lebih populer disebut *3D Printing*.

Fused Deposition Modeling (FDM) adalah salah satu teknik pencetakan 3D yang populer, di mana pun dalam teknik ini spesimen dibuat lapisan demi lapisan dengan orientasi berbeda pada pengendapan bahan termoplastik cair dari filamen yang diekstrusi (Alhazmi dan Backar, 2020). Dalam penelitiannya, menyajikan pendekatan yang efektif untuk karakterisasi properti bahan cetak 3D terutama difokuskan pada bahan PLA+. Hasil percobaan menunjukkan bahwa benda uji yang dipasang dengan arah $\pm 45^\circ$ adalah benda uji yang kinerjanya paling optimal.

Dalam pencetakan 3D FDM terdapat beberapa bahan filamen untuk digunakan yang berfungsi sebagai bahan pengisi bentuk, seperti *polyethylene terephthalate glycol* (PETG), *nylon*, *thermoplastic polyurethane* (TPU), *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), *polylactic acid* (PLA/PLA+), dan lain-lain. PLA+ (asam polilaktik ditambah aditif) mempunyai karakteristik daya rekat lapisan yang baik, lebih ramah cetak, dan memiliki harga yang terjangkau.

Metode FDM adalah proses yang kompleks, banyak parameter pencetakan 3D mempengaruhi sifat mekanik. Zhang dkk. (2019) mengemukakan bahwa sudut raster berperan penting dalam proses FDM. Pengaruh beberapa sudut raster pada sifat tarik dan sifat mekanik dinamis spesimen PLA dan Al/PLA dipelajari. Permukaan patahan benda uji setelah uji tarik diamati dan dianalisis. Permukaan yang retak menunjukkan bahwa kegagalan spesimen dengan sudut raster 0° disebabkan oleh pecahnya lapisan individu, sedangkan untuk sudut raster 90° , spesimen gagal karena pemisahan lapisan raster yang berdekatan.

Kholil dkk. (2020) telah melakukan penelitian untuk mengetahui kekuatan tarik dari bahan yang digunakan pada *printer 3D* yaitu ABS (*acrylonitrile butadiene styrene*). Berdasarkan hasil penelitian dari 6 variasi, hasil yang paling optimal didapatkan oleh orientasi arah aksial spesimen A0.25 dengan kekuatan tarik sebesar 21.56 MPa. Tran (2019) mempelajari hubungan antara sifat tarik dan orientasi cetak suatu produk PLA yang dihasilkan dengan proses pencetakan FDM. Uji tarik dilakukan pada sampel yang dicetak dalam 3 orientasi dasar (datar, di tepi dan tegak). Hasil percobaan menunjukkan bahwa spesimen yang dicetak tegak memiliki kekuatan terendah di antara tiga orientasi dan perbedaan kekuatan untuk banyak parameter cetak antara posisi datar dan tepi agak kecil, berkisar antara 0,34% hingga 4,3%.

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 (Suzen dan Hardiansyah, 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan parameter pencetakan objek *3D printing sistem kerja Fused Deposition Modelling* (FDM) terhadap kekuatan tarik (*tensile strength*) material PLA+ menggunakan orientasi *infill angle* (0° , 45° , dan 90°). Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk produk industri manufaktur dalam menentukan kemungkinan pilihan parameter yang dapat dipilih pengguna untuk membantu meningkatkan kekuatan mekanik produk.

2. METODE PENELITIAN

A. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian eksperimental yang mendeskripsikan variabel bebas (*infill angle* 0°, 45°, dan 90°), variabel terikat (kekuatan tarik), dan variabel kontrol (pencetakan 3D tipe ekstrusi/FDM). Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa data kuantitatif dan kualitatif, sumber data yang digunakan adalah data primer.

B. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu dimulai bulan Maret – Agustus 2022. Proses penelitian bertempat di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Universitas Muslim Indonesia Makassar. Untuk pencetakan spesimen dilakukan di Laboratorium Mekanik Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Pengujian tarik dilakukan di Balai Besar Pelatihan Vokasi dan Produktivitas/BLK Makassar.

C. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan antara lain: Mesin Pencetak 3D dan Mesin Uji Tarik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Serta beberapa Alat bantu pencetakan 3D yang digunakan seperti *microSD*, laptop *pc*, *caliper vernier*, tang potong dan spatula.



Gambar 1 **Mesin pencetak 3D Anycubic i3 Mega-S (Sumber: dokumen pribadi di PNUP Makassar)**

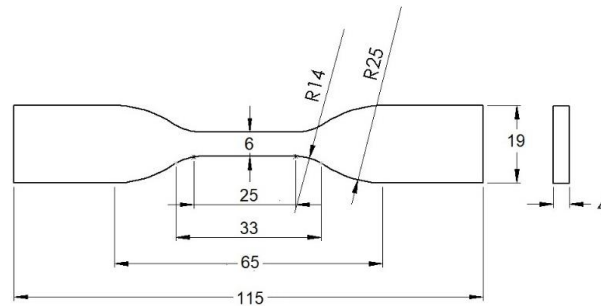


Gambar 2 **Mesin uji tarik Tensilon RTF-2425 S (Sumber: dokumen pribadi di Workshop BLK Makassar)**

Bahan untuk pembuatan spesimen pada penelitian ini adalah material polimer termosplastik berbentuk filamen jenis PLA+ komersial, dengan diameter 1.75 mm buatan Sunlu.

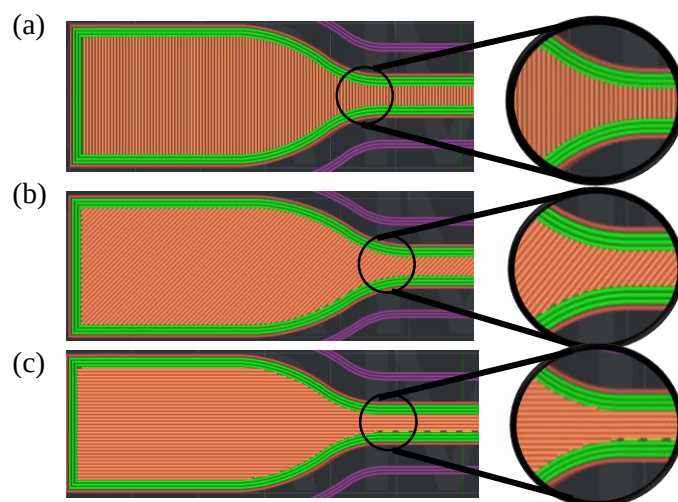
D. Tahapan Penelitian

Semua proses pada penelitian ini diawali dengan studi literatur, mempersiapkan alat dan bahan, selanjutnya membuat desain benda uji yang dirancang pada perangkat lunak Autodesk Fusion 360 sesuai dengan standar ASTM D638 tipe IV, yang dapat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 3 Desain material spesimen uji

Setelah model CAD dibuat, dilakukan *file save as* dengan format .stl untuk di *import* ke *software slicing 3D print* menggunakan ideaMaker 4.2.3. Perangkat *slicer* ini memproses model spesimen untuk membuat perintah G-code berdasarkan parameter yang telah diatur dan digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4 **Orientasi *infill angle* (a) 0°, (b) 45°, (c) 90°**

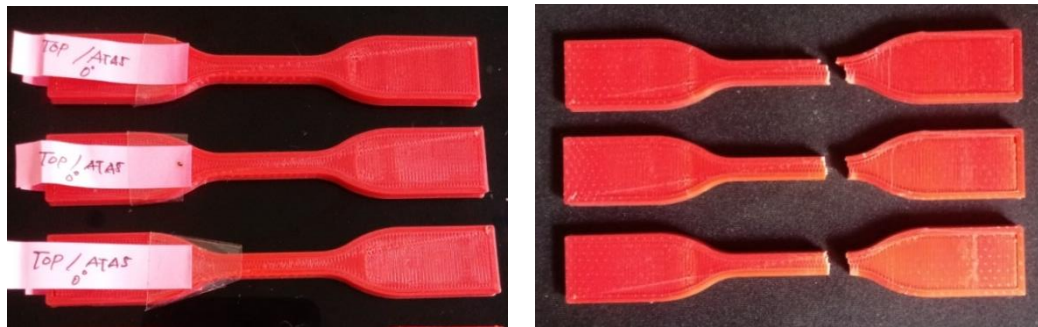
Kemudian dilakukan persiapan pencetakan spesimen uji seperti: memindahkan G-Code dari pc ke dalam mesin pencetak 3D menggunakan *microSD*, melakukan kalibrasi mesin pencetak 3D, memasang material pada *stand*udukan roll filamen, dan memanaskan nosel dan meja cetak dengan suhu yang telah ditentukan. Setelah selesai melakukan persiapan selanjutnya adalah mencetak spesimen uji menggunakan mesin pencetak 3D Anycubic i3 Mega-S dengan nosel berdiameter 0.4 mm. Setelah semua spesimen uji dicetak dan telah diidentifikasi, maka selanjutnya melakukan pengujian tarik untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik produk yang dihasilkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini diperoleh hasil pengujian tarik dari spesimen yang diproduksi menggunakan metode *3D printing* tipe *Fused Deposition Modelling* berbahan filamen PLA+. Data hasil pengujian dikelompokkan berdasarkan level dari masing-masing parameter *infill angle*. Pengelompokan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari nilai rata-rata pada tiap-tiap variabel, seperti yang dapat ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil proses *3D printing* sebelum dan setelah dilakukan uji tarik ditunjukkan pada **Gambar 5**, **Gambar 6** dan **Gambar 7** berikut

Tabel 1 Data hasil perhitungan kekuatan tarik rata-rata

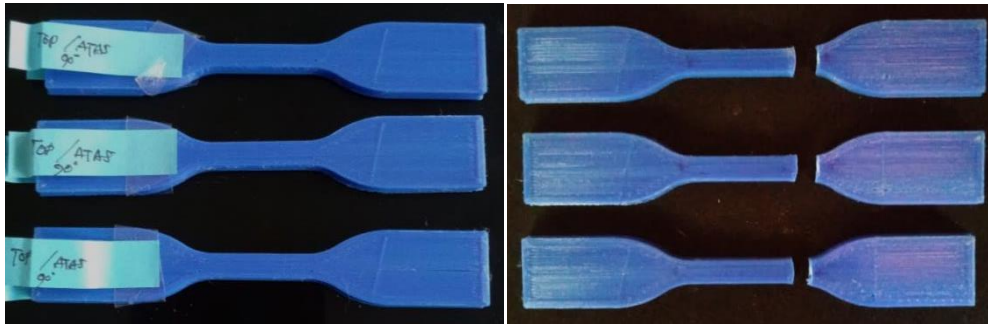
Material	Infill angle	No Sample	Max point load (N)	Elongation (mm)	Stress (MPa)	Kekuatan Tarik Rata-Rata (MPa)
PLA+	Spesimen 0°	1a	953.07	2.35024	39.71	41.12
		1b	973.63	2.35028	40.57	
		1c	1034.0	2.48976	43.08	
	Spesimen 45°	1a	1004.3	2.5894	41.85	41.91
		1b	965.10	2.56944	40.21	
		1c	1048.1	2.6092	43.67	
	Spesimen 90°	1a	1083.8	2.27068	45.16	45.99
		1b	1099.2	2.0117	45.80	
		1c	1128.3	2.09112	47.01	



Gambar 5 Spesimen PLA+ *infill angle* 0° sebelum dan sesudah uji tarik

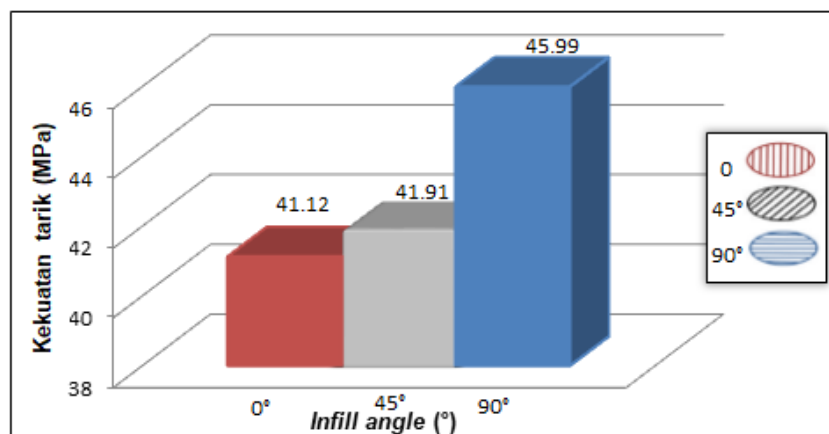


Gambar 6 Spesimen PLA+ *infill angle* 45° sebelum dan sesudah uji tarik

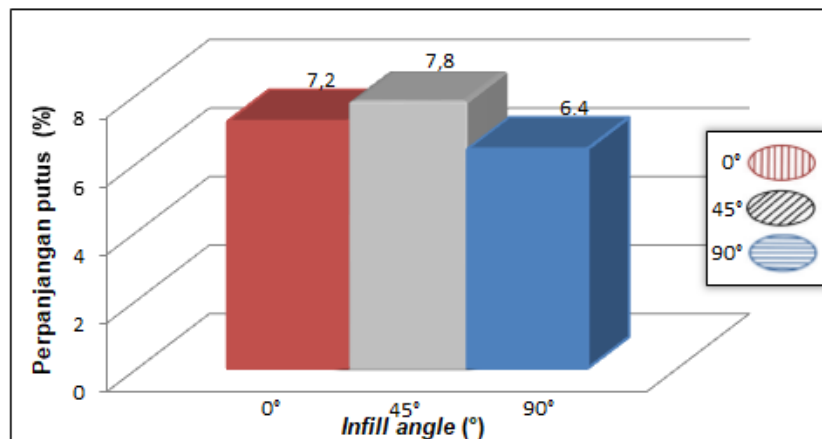


Gambar 7 Spesimen PLA+ *infill angle* 45° sebelum dan sesudah uji tarik

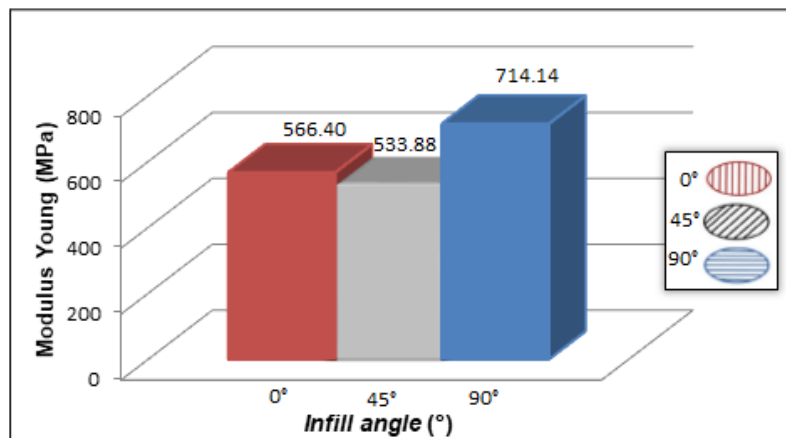
Setelah didapatkan nilai rata-rata uji tarik kemudian disajikan dalam bentuk grafik batang untuk memudahkan dalam menganalisa data. Hasil dari pengujian tarik dari kesembilan spesimen didapatkan nilai tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus Young yang dapat ditunjukkan pada Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10.



Gambar 8 Grafik Tegangan Tarik



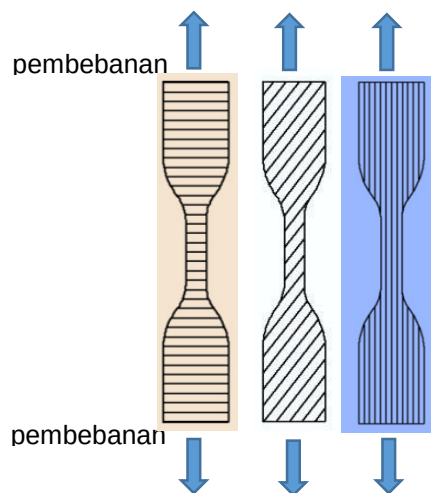
Gambar 9 Grafik Regangan Tarik



Gambar 10 Grafik Modulus Young

Pada Gambar 8 memperlihatkan kekuatan tarik rata-rata tertinggi terdapat pada spesimen dengan *infill angle* 90° dengan nilai sebesar 45.99 MPa, diikuti oleh spesimen dengan *infill angle* 45° yaitu 41.91 MPa, dan spesimen dengan *infill angle* 0° mempunyai kekuatan tarik terendah yakni 41.12 MPa. Gambar 7 menunjukkan spesimen dengan *infill angle* 45° mempunyai regangan tarik rata-rata tertinggi yaitu sebesar 7.8%, diikuti pada spesimen dengan *infill angle* 0° dengan nilai regangan 7.2%, dan spesimen dengan *infill angle* 90° mempunyai regangan terendah dengan nilai sebesar 6.4%. Pada Gambar 8, menghasilkan nilai modulus elastis rata-rata tertinggi dari spesimen dengan *infill angle* 90° dengan nilai sebesar 714.14 MPa, diikuti oleh spesimen dengan *infill angle* 0° yaitu 566.40 MPa, dan yang terakhir spesimen dengan *infill angle* 45° mempunyai modulus elastis paling rendah dengan nilai sebesar 533.88 MPa.

Spesimen dengan *infill angle* 90° yang susunan lapisannya dicetak secara horizontal searah sumbu x pada meja cetak, menunjukkan kinerja mekanis terbaik, yaitu memiliki kekuatan tarik paling optimal. Hal ini disebabkan karena lapisan pengisi (*infill*) sejajar dengan beban tarik yang diterapkan. Dapat diketahui bahwa semakin memanjang arah susunan lapisan yang sejajar dengan arah beban, maka akan lebih kuat dalam menerima atau menahan beban, karena tegangan yang terjadi terdistribusi ke sepanjang serat / lapisan filamen. Berbeda pada spesimen dengan *infill angle* 0° yang susunan lapisannya dicetak secara vertikal searah sumbu y pada meja cetak, mempunyai kekuatan tarik terendah. Hal ini disebabkan karena lapisan pengisi (*infill*) menumpuk tegak lurus terhadap beban tarik, sehingga lebih sedikit beban tarik yang diperlukan untuk mematahkan spesimen. Dan spesimen dengan *infill angle* 45° yang dicetak secara diagonal, menghasilkan kekuatan sedikit lebih besar dari spesimen dengan *infill angle* 0° tetapi sedikit lebih rendah dari spesimen dengan *infill angle* 90°.



Gambar 11 Arah pengujian tarik terhadap susunan lapisan *infill*.

Selain itu, *infill angle* juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat kekakuan spesimen. Berdasarkan hasil pengujian, diketahui bahwa rata-rata disetiap orientasi *infill angle* menghasilkan nilai modulus Young cukup tinggi yang dapat memberi gambaran mengenai perilaku bahan saat mengalami beban tarik yang mengalami perpanjangan/perpendekan. Dilihat dari regangan saat putus, orientasi pencetakan pada *infill angle* cukup jelas berdampak pada regangan fraktur. Dalam setiap kasus, ditampilkan regangan saat putus paling tinggi ada pada spesimen dengan *infill angle* 45°, diikuti oleh *infill angle* 0° dan 90°. Secara menyeluruh, dapat diamati bahwa ada hubungan yang terkait antara kuat tarik dan modulus elastisitas dengan perpanjangan putus. Peningkatan kekuatan atau modulus elastisitas mengakibatkan penurunan regangan fraktur, dan sebaliknya. Hal ini menyebabkan bahan patah pada beban tertentu dan mengalami perpatahan menurut orientasi *infill angle* nya.

4. KESIMPULAN

Dari data hasil pengujian diketahui bahwa *infill angle* mempengaruhi sifat tarik dari spesimen yang dibuat dengan proses *3D printing* tipe FDM.. Nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi dihasilkan pada spesimen yang dicetak dengan *infill angle* 90° sebesar 45.99 MPa, diikuti *infill angle* 45° sebesar 41.91 MPa, dan spesimen dengan *infill angle* 0° menghasilkan nilai kekuatan tarik rata-rata terendah yakni 41.12 MPa. Selain itu, regangan saat putus paling tinggi terdapat pada spesimen dengan *infill angle* 45° yaitu dengan nilai rata-rata 7.8 %, namun memiliki modulus Young paling rendah daripada spesimen dengan *infill angle* 90° yang menghasilkan nilai rata-rata tertinggi sebesar 714.14 MPa.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Alhazmi, M. W., & Backar, A. H. (2020). Influence of Infill density and Orientation on the Mechanical Response of PLA+ Specimens Produced using FDM 3D Printing.
- Ardiansyah, R., Suzen, Z.S. and Erwansyah, E., 2021. Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kekuatan Tarik Produk 3d Printing Menggunakan Filamen Polylactic Acid (PLA) Buatan R3d Maker. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 2(12), pp.2153-2164.

- Kholil, A., Aufo, F. and Syaefudin, E.A., 2020, December. Pengaruh layer thickness dan orientasi 3D Printing terhadap uji tarik material ABS. In *Prosiding Seminar Nasional NCIET* (Vol. 1, No. 1, pp. 219-226).
- Suzen, Z. S., & Hasdiansah, H. (2021). Pengaruh Geometri Infill terhadap Kekuatan Tarik Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Type IV Menggunakan Filamen PLA+ Sugoi. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(2), 140-147.
- Tran, N., 2019. The Impact of Printing Orientation on The Tensile Properties of Parts Printed by Fused Deposition Modelling.
- Zhang, X., Chen, L., Mulholland, T. and Osswald, T.A., 2019. Effects of raster angle on the mechanical properties of PLA and Al/PLA composite part produced by fused deposition modeling. *Polymers for Advanced Technologies*, 30(8), pp.2122-2135.
- [What is PLA+ and how is it different from regular PLA? – 3D Solved](#), (Online). diakses 8 Agustus 2022 11:59 PM.
- Widiyanto, W. and Setyani, T.I., 2019. PENGARUH ARAH CETAKAN 3D PRINTING TIPE FDM BAHAN POLYMER ABS TERHADAP TENSILE STRENGTH PRODUK YANG DIHASILKAN. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 21(1), pp.25-34.