

Pengaruh Filament Feeding Length, Jarak Nozzle dan Kecepatan Pencetakan terhadap Pembuatan Microfibers Menggunakan Mesin 3d Printer Fused Deposition Modelling

Dede Islamiadin, Redyarsa Dharma Bintara *, Aminnudin

Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: dede.islamiadin.1705146@students.um.ac.id

Paper received: 05-07-2021; revised: 11-08-2021; accepted: 18-09-2021

Abstract

This study aims to analyze the effect of filament feeding length, nozzle distance and varied printing speeds on the thickness and length of the filament fiber of the 3D Printer FDM machine. This research method is experimental, while the test results were analyzed using the Taguchi method and analysis of variance (ANOVA) using the Minitab software. The concept used is by utilizing the surface tension on the stretched filament or commonly known as the liquid bridge phenomenon. This method is possible to make thinning of the extruded filament. The lower extrusion volume thickness and higher printing speed are concluded to produce micro-sized fibers due to the smaller viscoelastic internal compression force along the filament fiber. This study uses variations in filament feeding length (0.2 mm, 0.3 mm, 0.4 mm), nozzle distance (0.6 mm, 0.7 mm, 0.8 mm) and printing speed (1000 mm/min, 1500 mm/min, 2000 mm/min). The results of the analysis of the thickness of the filament fiber obtained the optimal variation of filament feeding length 0.2 mm, printing speed 2000 mm/min, and nozzle distance 0.8 mm which resulted in a thickness of 120 μ m. The results of the analysis of the length of the filament fiber obtained the optimal variation of filament feeding length of 0.4 mm, printing speed of 1000 mm/min, and nozzle distance of 0.6 mm which resulted in a length of 3 cm.

Keywords: 3d printer; 3d printing fdm; fused deposition modelling; microfibers

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh *filament feeding length*, jarak *nozzle* dan kecepatan cetak yang divariasikan terhadap ketebalan dan panjang serat *filament* mesin 3D Printer FDM. Metode penelitian ini menggunakan eksperimental, sedangkan hasil pengujian dianalisis dengan metode Taguchi dan *analysis of variance* (ANOVA) menggunakan software Minitab. Konsep yang digunakan yaitu dengan memanfaatkan tegangan permukaan pada *filament* yang ditarik memanjang atau biasa disebut dengan fenomena *liquid bridge*. Metode ini dimungkinkan dapat membuat penipisan pada *filament* yang di *ekstrude*. Ketebalan volume ekstrusi yang lebih rendah dan kecepatan pencetakan yang lebih tinggi disimpulkan dapat membuat serat dengan ukuran mikro karena gaya kompresi internal *viscoelastic* yang lebih kecil di sepanjang serat *filament*. Penelitian ini menggunakan variasi *filament feeding length* (0,2 mm, 0,3 mm, 0,4 mm), jarak *nozzle* (0,6 mm, 0,7 mm, 0,8 mm) dan kecepatan pencetakan (1000 mm/min, 1500 mm/min, 2000 mm/min). Hasil analisis ketebalan serat *filament* didapatkan variasi optimal *filament feeding length* 0,2 mm, kecepatan pencetakan 2000 mm/min, dan jarak *nozzle* 0,8 mm yang menghasilkan ketebalan 120 μ m. Hasil analisis panjang serat *filament* didapatkan variasi optimal *filament feeding length* 0,4 mm, kecepatan pencetakan 1000 mm/min, dan jarak *nozzle* 0,6 mm yang menghasilkan panjang 3 cm.

Kata kunci: 3d printer; 3d printing fdm; fused deposition modelling; microfibers

1. Pendahuluan

3D Printing dapat berfungsi penting dalam dunia manufaktur. Material yang umumnya digunakan untuk 3D Printing adalah plastik, metal dan keramik. 3D Printing mengacu pada teknologi yang mulai dikembangkan pada 1980-an (Holt et al., 2019). Semua bentuk

pembuatan mengikuti proses dasar yang sama. Pertama, desain dari suatu objek dibuat menggunakan bantuan perangkat lunak komputer, Computer Aided Design (CAD) (Tracy, 2007). Selanjutnya, desain diubah menjadi satu set instruksi manufaktur yang menentukan pengendapan material di lokasi yang diperlukan. Akhirnya, bahan disimpan dalam laminasi yang berurutan untuk membangun objek. Teknologi yang paling mirip dengan pencetakan tradisional adalah FDM.

Fused Deposition Modelling (FDM) merupakan metode dalam teknologi 3D *printing*. Mekanisme dari metode FDM yaitu penambahan material, ketebalan setiap lapisan, dan kualitas bagian yang dihasilkan diatur oleh proses dan material yang digunakan selama pembuatan (Varotsis, 2019). Polimer *termoplastik* atau *filament* diumpankan ke *printhead* dengan cara yang mirip dengan benang dalam mesin jahit. *Printhead* kemudian melelehkan bahan dan mengikuti jalur yang ditentukan oleh penampang digital, lalu mengendapkan lapisan material. Lapisan yang berurutan kemudian diendapkan sebelum benar-benar memadat (B.E. Yamamoto & Trimble, 2016).

Penelitian ini menggunakan metode sederhana untuk membuat *microfibers* polimer dengan pendekatan *elongnation*, menggunakan mesin 3D *Printer Fused Deposition Modelling* (FDM) yang tersedia secara komersial. Untuk mengatasi kerumitan pembuatan serat mikro, diperlukan proses sederhana dan murah yang dapat menghasilkan serat mikro seragam dengan ketebalan dan panjang yang dapat dikontrol (Niendorf & Raeymaekers, 2020). Pembuatan *microfibers* atau serat *filament* dapat memberikan atau memfasilitasi pedoman baru untuk berbagai aplikasi serat mikro, seperti perancah biomedis, sensor, dan produksi *action figure*.

2. Metode

Dalam studi ini jenis material yang digunakan adalah Poly-lactic Acid (PLA) dengan spesifikasi material seperti pada Tabel 1. Alasan utama penggunaan material tersebut dikarenakan material ini mempunyai sifat termoplastik *bio-degradable* serta mempunyai sifat mekanik yang kuat untuk berbagai aplikasi (Tezel et al., 2021)(Farah & Shady, 2016).

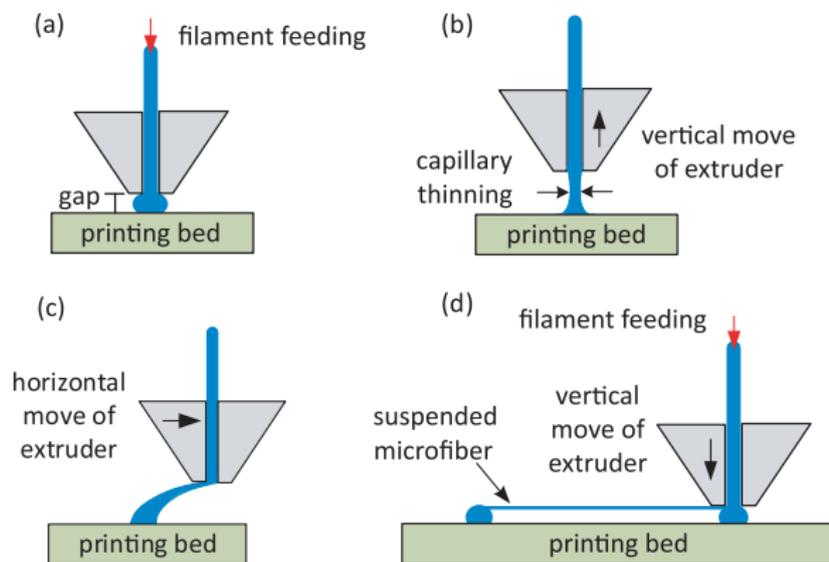
Tabel 1. Sifat Mekanik Material PLA

Properties	Type of biopolymer	
	PLA	Unit
ρ	1,21 – 1,25	(g/ cm ³)
σ	21 – 60	MPa
E	0,35 – 3,5	GPa
ϵ	2,5 – 6	%

Microfibers dibuat dengan mesin 3D *Printer Fused Deposition Modelling* dengan diameter nozzle 0,4 mm dan material *filament* PLA. Proses pencetakan FDM menggunakan motor untuk menggerakkan roda gigi agar memasukkan material *filament* ke dalam *ekstruder*. *Filament* akan dipanaskan dan dilebur melalui blok pemanas. *Filament* diekstrusi dari *nozzle* dengan suhu yang sudah ditentukan dan *filament* yang diekstrusi akan diendapkan pada alas pencetakan. Pengekstrusi digerakkan oleh dua motor untuk bergerak ke arah XY, dan alas pencetakan dikendalikan oleh motor lain untuk bergerak ke arah Z. Setelah menyelesaikan pola bidang melalui metode pencetakan lapis demi lapis, ekstruder bergerak menjauh (yaitu

alas pencetakan bergerak ke bawah) dari alas pencetakan untuk mencetak lapisan baru, dan proses ini berulang hingga struktur yang diinginkan dicetak (Saputra, 2019).

Dalam studi ini, menggunakan metode baru dan sederhana untuk membuat *microfibers* polimer dengan pendekatan *elongnation*. Setelah *filament* siap untuk diekstrusi dari *nozzle* untuk diendapkan pada permukaan pencetakan, penggerak berhenti bergulir untuk memberi makan *filament* untuk menghindari tekanan tinggi di ruang *ekstruder* dan untuk mencegah ekstrusi *filament* berlebihan. Meregangkan *filament* untuk membentuk lapisan tipis *filament* antara *nozzle* dan alas pencetakan. *Filament* yang diekstrusi menunjukkan sifat *viskoelastik* dan mengalami penipisan kapiler saat diregangkan. Dengan demikian, ketebalan *filament* yang diregangkan menjadi lebih kecil dengan bertambahnya jarak pemanjangan, membentuk serat mikro. Gambar 1 merupakan sistematis pembuatan *microfibers*.



Gambar 1. Sistematis Pembuatan *microfibers*

Sumber : Lu dkk, (2021)

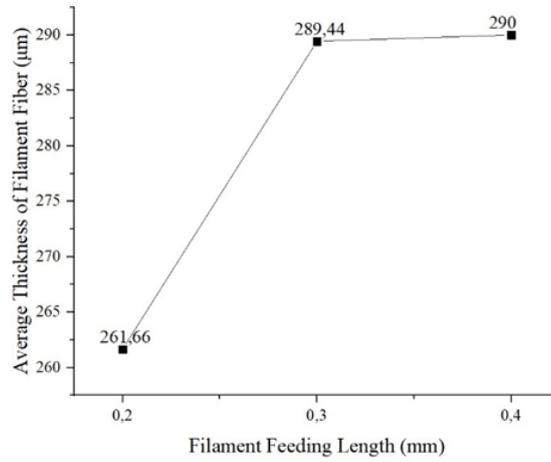
Ketebalan (atau diameter) dan keseragaman *microfiber* yang dicetak dapat ditentukan oleh beberapa parameter pencetakan, seperti *filament feeding length* (E), jarak *nozzle* dengan alas (Z) dan kecepatan pencetakan (F). Dengan demikian, *microfibers* dibuat dengan berbagai variasi parameter seperti yang dijelaskan pada Tabel 2. Dalam studi ini, *G-code* yang digunakan merupakan *G-Code* buatan sendiri untuk proses pencetakan (X , Y dan Z dari *G-code*).

Tabel 2. Parameter Pencetakan

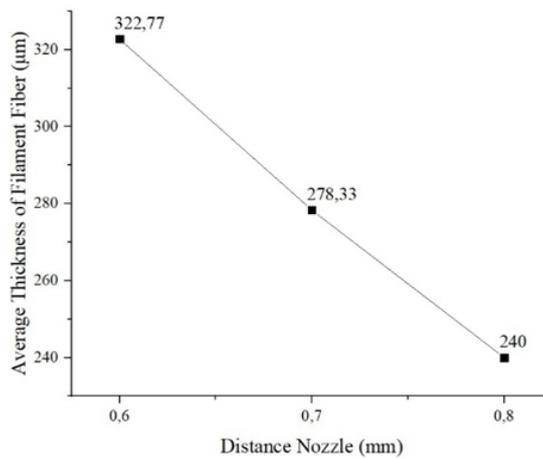
Filament Feeding Length (E , mm)	Kecepatan Cetak (F , mm/min)	Jarak nozzle dengan bed (Z , mm)
0,2	1000	0,6
0,3	1500	0,7
0,4	2000	0,8

3. Hasil dan Pembahasan

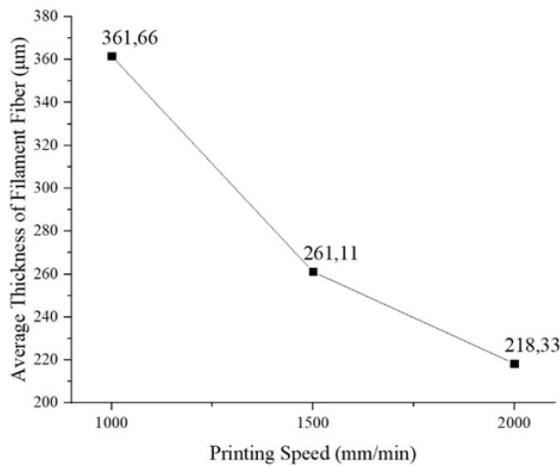
3.1. Ketebalan Serat *Filament*



a



b

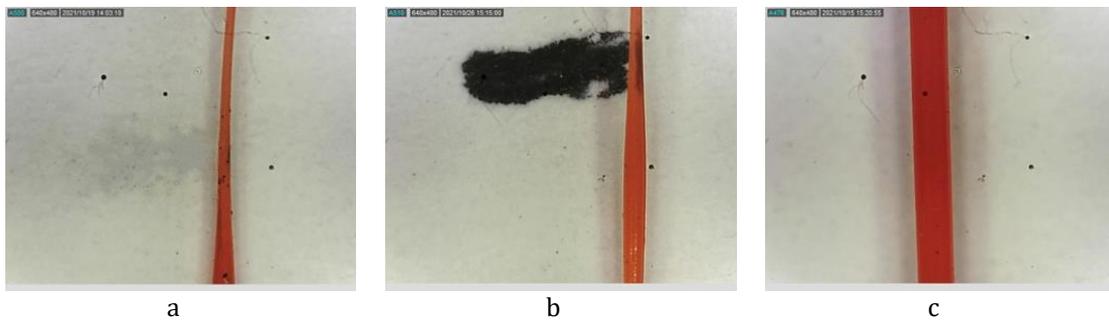


c

Gambar 2. Grafik Pengaruh : (a) *Filament Feeding Length*, (b) Jarak *Nozzle*, (c) Kecepatan Pencetakan, Terhadap Ketebalan Serat *Filament*

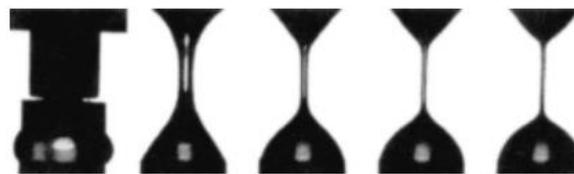
Filament feeding length merupakan parameter atau faktor yang paling signifikan untuk mengontrol ketebalan serat *filament* yang dicetak dengan mesin *3D Printer*. Hal tersebut membuktikan bahwa semakin kecil *filament feeding length* maka nilai ketebalan serat *filament* juga semakin kecil atau menipis. Jarak *nozzle* tidak terlalu signifikan terhadap penipisan serat *filament* dibandingkan parameter *filament feeding length* dan kecepatan cetak, tetapi jarak *nozzle* lebih berpengaruh terhadap ketebalan serat *filament*. Jarak *nozzle* berpengaruh untuk mengubah *coefficient of variation* (CV) pada *filament feeding length* dan kecepatan cetak (Lu et al., 2021). Kecepatan cetak mesin *3D Printer* yang semakin cepat akan membuat nilai ketebalan *filament* yang didapatkan semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan terjadinya pendorongan dari motor penggerak *nozzle* yang sangat cepat pada saat proses perpanjangan, sehingga serat *filament* menipis dan beresiko terputusnya serat *filament*.

Jarak *nozzle* yang divariasikan pada penelitian ini lebih besar dari diameter *nozzle* (0,4 mm), sehingga spesimen yang didapatkan cenderung berbentuk *circular* (lingkaran). Gambar 3 merupakan perbedaan spesimen setiap level variasi.



Gambar 3. Bentuk pengendapan *filament* dengan perbedaan jarak *nozzle*, (a) jarak 0,8 mm, (b) jarak 0,7 mm, (c) jarak 0,6 mm

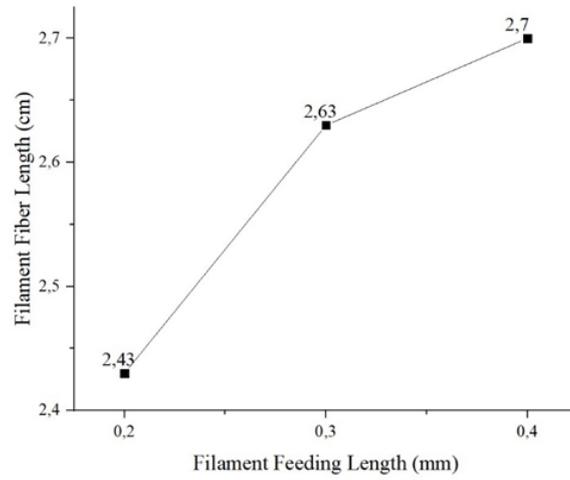
Terdapat hukum fisika tentang penipisan polimer yang terjadi akibat adanya dorongan dan kecepatan tinggi. Hal tersebut menyatakan bahwa *filament* yang diekstrusi memanjang akan mengalami keregangan sehingga membentuk jembatan cair (*liquid bridge*) sebagai fenomena dari cairan *viscoelastic* dan *liquid bridge* mengalami penipisan *filament*. Metode ini memanfaatkan tegangan dan regangan pada permukaan *liquid bridge* sehingga terjadinya penipisan serat *filament*. Fenomena tersebut juga selaras dengan penelitian ini, seperti kecepatan cetak mesin *3D Printer* yang semakin cepat akan membuat ketebalan serat *filament* semakin menipis seperti pada Gambar 4. (Bazilevsky et al., 2011)



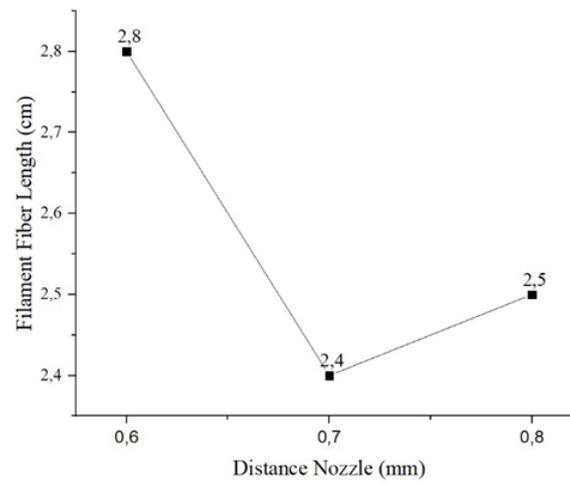
Gambar 4. Konsep *Liquid Bridge*

Sumber : Bazilevskii dkk, (2001).

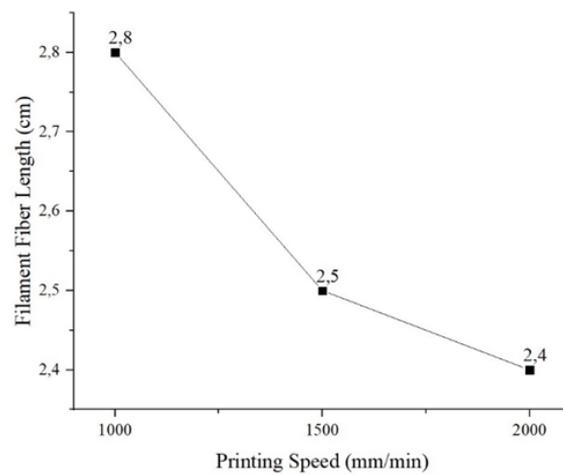
3.2. Panjang Serat *Filament*



a



b



c

Gambar 4. Grafik Pengaruh : (a) *Filament Feeding Length*, (b) Jarak *Nozzle*, (c) Kecepatan Pencetakan, Terhadap Panjang Serat *Filament*

Untuk menjaga keseragaman serat *filament* disepanjang arah yang ditentukan, maka penting untuk membuat *material* komposit matriks-polimer dengan sifat yang disesuaikan. Salah satu yang membuat serat *filament* menjadi tidak seragam yaitu terjadinya putus *filament* pada saat proses pencetakan (Niendorf & Raeymaekers, 2020). *Filament* putus terjadi dikarenakan adanya faktor dari parameter *filament feeding length* dan kecepatan pencetakan terhadap berkurangnya sifat *viscoelastic*. Sifat *viskoelastic* merupakan zat polimer yang menunjukkan sifat kental dan *elastis* selama *deformasi* bahan. Viskositas zat ini memberikan laju regangan yang bergantung pada waktu atau kecepatan. Selain itu, bahan elastis murni tidak menghilangkan energi saat beban diterapkan dan dihilangkan, tetapi zat *viskoelastic* menghilangkan energi pada saat yang sama. Untuk mengurangi hilangnya sifat *viscoelastic* yang terjadi akibat penipisan pada serat *filament* diperlukan batasan untuk panjang *filament* yang diekstrusi. Hal tersebut menyatakan bahwa kecepatan cetak yang semakin cepat akan menyebabkan penipisan pada serat *filament* sehingga resiko terjadinya putus semakin besar karena disebabkan oleh penipisan tersebut (Lu et al., 2021).

3.3. Analisis Serat *Filament*

Analisis menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) untuk mengetahui parameter yang paling berpengaruh pada penelitian ini. Data hasil *analysis of variance* (ANOVA) diolah menggunakan *software* Minitab. Hasil dari *analysis of variance* (ANOVA) dapat ditunjukkan pada Tabel 3 & Tabel 4 berikut.

Tabel 3. *Analysis of Variance* (ANOVA) Ketebalan Serat *Filament*

Source	DF	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	F-Table	P-Value
Filament Feeding Length	1	2,24%	1204	1204	0,53	5,14	0,500
Jarak Nozzle	1	19,14%	10278	10278	4,51	5,14	0,087
Kecepatan Cetak	1	57,39%	30817	30817	13,52	5,14	0,014
Error	5	21,22%	11394	2279			
Total	8	100,00%					
Regression	3	78,78%	42299	14100	6,19	5,14	0,039

Tabel 4. *Analysis of Variance* (ANOVA) Panjang Serat *Filament*

Source	DF	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	F-Table	P-Value
Filament Feeding Length	1	19,43%	0,1067	0,10667	3,16	5,14	0,136
Jarak Nozzle	1	19,43%	0,1067	0,10667	3,16	5,14	0,136
Kecepatan Cetak	1	30,36%	0,1667	0,16667	4,93	5,14	0,077
Error	5	30,77%	0,1689	0,03378			
Total	8	100,00%					
Regression	3	69,23%	0,3800	0,12667	3,75	5,14	0,094

F-Value yang memiliki nilai lebih besar dari F-Table dan P-Value yang memiliki nilai lebih kecil dari α menunjukkan bahwa parameter tersebut memiliki pengaruh terhadap serat *filamen* yang dihasilkan. Output error merupakan standar *error of mean* yang mencerminkan keakuratan spesimen yang dipilih terhadap variasinya. Semakin kecil nilai standard error, semakin mengindikasikan bahwa spesimen yang diambil lebih baik atau cukup mewakili variasi yang sedang diteliti dan sebaliknya. Nilai standard error akan mengecil saat jumlah spesimen diperbanyak (Mishra et al., 2021).

4. Simpulan

Peningkatan kecepatan cetak dapat membuat ketebalan serat *filament* yang dihasilkan semakin tipis atau kecil. Hal ini dikarenakan kecepatan cetak yang tinggi akan mendorong serat *filament* sehingga terjadi penipisan serat *filament* pada saat proses pencetakan serat *filament*. Mengatur jarak *nozzle* agar tidak terlalu dekat dengan alas dapat membuat serat *filament* semakin kecil atau tipis, hal itu dilakukan agar pengendapan yang terjadi akibat jarak *nozzle* tidak terlalu banyak, sehingga serat *filament* yang dihasilkan semakin kecil atau tipis. Hasil optimal pada penelitian ini terjadi pada variasi *filament feeding length* 0,2 mm, jarak *nozzle* 0,8 mm, dan kecepatan cetak 2000 mm/min dengan hasil rata-rata ketebalan 120 μm . Jarak *nozzle* yang terlalu dekat dengan alas dapat membuat serat *filament* semakin panjang, hal ini disebabkan karena pengendapan serat *filament* dapat membantu menghasilkan panjang serat *filament* yang diinginkan agar tidak terjadi putus pada serat *filament*. Mengatur kecepatan cetak agar tidak terlalu tinggi juga dapat membuat serat *filament* yang dicetak semakin panjang, hal itu dilakukan agar serat *filament* tidak terputus. Hal tersebut dikarenakan kecepatan yang tinggi dapat membuat serat *filament* putus sebelum proses pencetakan serat *filament* selesai

Daftar Rujukan

- B.E. Yamamoto, & Trimble, A. Z. (2016). *Additive manufacturing/3D printing of polymer nanocomposites: structure-related multifunctional properties*.
- Bazilevsky, A. V., Entov, V. M., & Rozhkov, A. N. (2011). Breakup of a liquid bridge as a method of rheological testing of biological fluids. *Fluid Dynamics*, 46(4), 613–622. <https://doi.org/10.1134/S0015462811040119>
- Farah, F & Shady, S. (2016). *Sifat mekanik material PLA*.
- Holt, C., Edwards, L., Keyte, L., Moghaddam, F., & Townsend, B. (2019). Construction 3D Printing. In *3D Concrete Printing Technology* (Vol. 42, Issue 3). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815481-6.00017-8>
- Lu, Q., Song, K. Y., Feng, Y., & Xie, J. (2021). Fabrication of suspended uniform polymer microfibers by FDM 3D printing. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 32, 179–187. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.11.005>
- Mishra, D. K., Upadhyay, A. K., & Sharma, S. (2021). An efficient approach for manufacturing process using Big data analytics. *Materials Today: Proceedings*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.146>
- Niendorf, K., & Raeymaekers, B. (2020). Quantifying macro- and microscale alignment of carbon microfibers in polymer-matrix composite materials fabricated using ultrasound directed self-assembly and 3D-printing. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 129(November 2019), 105713. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2019.105713>
- Saputra, O. A. (2019). *Pengoperasian Mesin Cetak 3D* (Issue December).
- Tezel, T., Ozenc, M., & Kovan, V. (2021). Impact properties of 3D-printed engineering polymers. *Materials Today Communications*, 26(December 2020), 102161. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102161>
- Tracy, J. W. (2007). 3D Printing A revolution in the making. *Family Practice Management*, 14(8), 11. <https://doi.org/10.18848/2327-7912/cgp/v12i01/58293>
- Varotsis, A. B. (2019). *Introduction to FDM 3D printing*. <https://www.Hubs.Com>.