

## Studi Permukaan Produk Berbahan PLA Hasil Fabrikasi Menggunakan Mesin 3D Printer Jenis *Fused Deposition Modelling* (FDM) dengan Variasi Kecepatan Printing

<sup>1)</sup>\*Satriawan Dini Hariyanto, <sup>2)</sup>Nurhayati, <sup>3)</sup>I Gusti Gde Badrawada

<sup>(1,3)</sup>Program Studi Teknik Mesin, IST AKPRIND Yogyakarta, Kompleks, Jl. Kalisahak Jl. Balapan No.28, Klitren, Gondokusuman, Kota Yogyakarta, D.I.Yogyakarta 55222

<sup>(2)</sup> Program Studi Teknik Mesin, Universitas TIDAR, Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Magelang Utara, Jawa Tengah 56116

\*Email: satriawan@akprind.ac.id

Diterima: 10.07.2023, Disetujui: 18.10.2023, Diterbitkan: 22.10.2023

### ABSTRACT

The products resulting from the manufacturing process using the fused deposition modeling (FDM) technique, which leverages the surface properties of materials, are often utilized in technical applications involving liquids and gases. Based on this, the research aims to determine the influence of printing speed on the width of deposition of polylactic acid (PLA) polymer. The effect of printing speed on the width of polymer deposition and the gap distance between one polymer deposit and another on the sample surface is observed and analyzed using image processing techniques. Printing speeds were varied from 30 mm/s, 60 mm/s, and 90 mm/s. From the experimental results, the effect of printing speed on the width of polymer deposition produced a linear equation  $y = 0.0008x + 0.28$ , and the gap width between filament deposits on the sample surface exhibited a linear relationship with the equation  $y = -0.0002x + 0.0833$

**Keywords:** *fused deposition modelling, surface analysis, PLA.*

### ABSTRAK

Produk hasil proses manufaktur menggunakan teknik *fused deposition modelling* (FDM) yang memanfaatkan sifat permukaan material seringkali digunakan pada penerapan teknis yang melibatkan fluida cair maupun gas. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan printing terhadap lebar deposisi polimer polylactic acid (PLA). Pengaruh kecepatan printing (*printing speed*) terhadap lebar deposisi polimer dan jarak gap antar satu deposit dengan deposit polimer lainnya di permukaan sample diamati dan dianalisis menggunakan teknik *image processing*. Kecepatan printing dibuat bervariasi mulai dari 30 mm/s, 60 mm/s, dan 90 mm/s. Dari hasil eksperimen diperoleh pengaruh kecepatan printing terhadap lebar deposisi polimer menghasilkan persamaan linear  $y = 0,0008 x + 0,28$  dan lebar gap antar deposisi filamen pada permukaan sample menunjukkan hubungan persamaan linear  $y = -0,0002 x + 0,0833$ .

**Kata kunci :** *fused deposition modelling, studi permukaan, PLA.*

### I. Pendahuluan

Proses fabrikasi produk menggunakan metode *fused deposition modelling* (FDM) merupakan bagian dari teknik produksi berbasis *additive manufacturing* yang menjadi salah satu ciri perkembangan metode manufaktur produk pada era industri 4.0. Fabrikasi produk menggunakan metode FDM terdiri atas tiga tahap, yaitu CAD modelling, preparasi part, dan *additive manufacturing system* (Sathies et al., 2020). Beragam teknik produksi menggunakan FDM semakin mengalami perkembangan di antaranya dari

aspek optimalisasi parameter proses produksi yang meliputi *layer thickness, infill density, infill pattern, raster angle, raster width, build orientation, printing speed, perimeters, printing temperature, bed temperature, chamber temperature.*

Fleksibilitas produk yang dihasilkan dari penggunaan metode *additive manufacturing* jenis FDM tergolong sangat tinggi. Beragam bentuk geometri dapat dibentuk dengan memodifikasi desain CAD produk yang akan dibuat (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Hal ini mengakibatkan aplikasi metode FDM dapat digunakan untuk ruang lingkup yang luas,

antara lain : fabrikasi sensor, bidang medis (pembuatan scaffold), DDS (Drug Delivery Service), rapid tooling, aerospace, otomotif, dan *microfluidic device* (Sathies et al., 2020). Rekayasa sifat material pada proses manufaktur berbasis FDM dapat dilakukan dengan memodifikasi parameter manufaktur yang ada pada mesin FDM dan memodifikasi material yang digunakan, modifikasi parameter manufaktur dapat dilakukan dengan menggunakan metode taguchi untuk memperoleh pengaturan parameter optimum sedangkan modifikasi material memiliki kombinasi yang sangat banyak yang dipengaruhi oleh jenis material dan jumlah kombinasi material yang digunakan. Polimer sebagai bahan baku pada metode FDM dapat dikombinasikan dengan beragam jenis material lainnya seperti: polimer-polimer; polimer-keramik; polimer-logam, sehingga dapat diperoleh sifat mekanik yang sangat beragam (Nazir et al., 2023).

Di sisi lain, penggunaan mesin FDM di bidang *microfluidic device* memerlukan penelitian lebih lanjut terkait dengan penggunaan material dan karakteristik tiap-tiap jenis material polimer yang digunakan sebagai bahan dasar penyusun produk *microfluidic device* tersebut. *Wettability* (keterbasahan) adalah kecenderungan satu fluida menyebar atau melekat pada permukaan padat. Sudut kontak antara fluida dan permukaan padat pada rentang  $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  menunjukkan bahwa suatu permukaan memiliki sifat hidrofobik sedangkan sudut kontak di rentang  $90^{\circ}$ - $180^{\circ}$  menunjukkan sifat hidrofilik. Karakteristik hidrofobik suatu permukaan memiliki peran penting untuk mengatur *stickiness* dan kemampuan *self-cleaning* suatu material. Oleh karena itu, kontrol terhadap keterbasahan sangat penting untuk aplikasi produk yang akan digunakan untuk penyimpanan cairan atau kontak cairan yang diukur dari besarnya nilai sudut kontak fluida pada permukaan padat (Modi & Prakash, 2019). Penelitian yang dilakukan oleh (Han et al., 2020) menunjukkan studi mengenai *wettability* pada permukaan material PLA dengan dimensi 30 mm x 30 mm x 5 mm. Pada penelitian tersebut material PLA dan PDMS dikombinasikan untuk memodifikasi permukaan produk *biomimetic device* yang berfungsi sebagai pengumpul cairan berukuran kecil yang dibuat dengan menggunakan metode FDM.

Hasil modifikasi menunjukkan peningkatan sifat *hydrophobicity* pada permukaan alat dengan performa pengumpulan air pada permukaan sampel yang telah dimodifikasi 42,6 % lebih besar dibanding permukaan sampel tanpa modifikasi. (Modi & Prakash, 2019) meneliti *water contact angle* (WCA) pada part hasil fabrikasi FDM menggunakan material PLA. Pada penelitian tersebut diperoleh variasi nilai WCA yang terbentuk terhadap perubahan geometri part. Hasil penelitian menunjukkan permukaan geometri semi-circular memiliki nilai WCA terendah sedangkan geometri inclined memiliki nilai WCA tertinggi. (Rehmani et al., 2021) memfabrikasi *microchannel* yang dibuat menggunakan mesin FDM. Penelitian tersebut berhasil diperoleh produk *microchannel device* dengan tiga variasi bentuk, yaitu : linear, *curved*, dan spiral dengan masing-masing bentuk memiliki diameter channel kurang dari 0,5 mm.

Penelitian yang dilakukan oleh (Matsuzaki et al., 2019) membahas mengenai penggabungan proses manufaktur menggunakan FDM dan non-konvensional machining. Pada penelitian tersebut FDM digunakan untuk membuat cetakan (*mold*) yang kemudian dilanjutkan dengan pembuatan produk yang terbuat dari logam tembaga dengan menggunakan metode *electroforming*. Pada penelitian tersebut diperoleh produk multi material polimer-logam yang terdistribusi pada lapisan-lapisan yang susunannya dapat diatur sesuai desain produk yang dibuat. Modifikasi *build surface* mesin FDM dilakukan untuk mengakomodasi proses *electroforming*. Penelitian yang dilakukan oleh (Mohd Nizar et al., 2018) menunjukkan perubahan yang signifikan pada sifat *wettability* material PLA yang dikombinasikan dengan logam aluminium untuk membuat produk nanotube yang dapat diaplikasikan pada bidang medis. Penelitian lainnya yang berkaitan dengan modifikasi permukaan material PLA seperti yang dilakukan oleh (Akindoyo et al., 2016), pada penelitian tersebut material PLA dikombinasikan dengan serat selulosa yang diperoleh dari tandan buah palem.

Serat selulosa digunakan sebagai filler pada matriks PLA sehingga gabungan dua material ini membentuk komposit PLA-Selulosa alami. Produk yang dihasilkan dari komposit PLA-Selulosa adalah fiber. Dari penelitian-penelitian

yang telah dijabarkan di atas Pada penelitian ini studi *wettability* dilakukan untuk beberapa jenis material PLA (Polylactic Acid) dengan variasi parameter fabrikasi kecepatan printing (*print speed*).

## II. Bahan dan Metode

Material yang digunakan sebagai sampel adalah *polyactic acid* (PLA). Sifat mekanik dari material PLA ditunjukkan pada Tabel 2.1 (Jiang & Zhao, 2015).

Tabel 2.1 Sifat mekanik material PLA

No.	Sifat Mekanik	Nilai	Satuan
1	<i>Tensile Strength, Yield</i>	38	Mpa
2	<i>Tensile Strength, Ultimate</i>	47.2	Mpa
3	<i>Modulus of Elasticity</i>	2.91	Gpa
4	<i>Sheear modulus</i>	2.4	GPa
5	<i>Density</i>	1290	Kg/m <sup>3</sup>
6	<i>Poisson ratio</i>	0.203	

Pada penelitian ini mesin FDM yang digunakan adalah merk Creality-ender 3 dengan sistem konfigurasi single nozzle. Metode pengaturan nilai parameter fabrikasi sampel diatur berdasarkan Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Parameter fabrikasi sampel

No.	Parameter Fabrikasi	Sample 1	Sample 2	Sample 3
1	<i>material infill density</i>	20 %	20 %	20 %
2	<i>build plate temperature</i>	50 °C	50 °C	50 °C
3	<i>nozzle temperature</i>	200 °C	200 °C	200 °C
4	<i>layer thickness</i>	0,2 mm	0,2 mm	0,2 mm
5	<i>print speed</i>	30 m/s	60 m/s	90 m/s



Gambar 1. Sampel yang terbuat dari material polimer PLA

Bentuk geometri sampel yang digunakan untuk pengamatan ditunjukkan pada Gambar 2.1. Sampel berukuran 20x20x4 mm yang pada pengujiannya diamati menggunakan mikroskop, permukaan sample kemudian difoto untuk mengamati struktur morfologi permukaan sample. Gambar permukaan sample yang diamati diolah menggunakan *software image processing* jenis open source (*imageJ*). Teknik pengolahan data foto permukaan sample menggunakan *image processing* bertujuan agar kontur permukaan sample terlihat lebih kontras. Permukaan sample yang memiliki warna hitam menandakan kondisi kedalaman maupun cekungan yang lebih dalam dibandingkan permukaan sample yang berwarna putih.

## III. Hasil dan Pembahasan

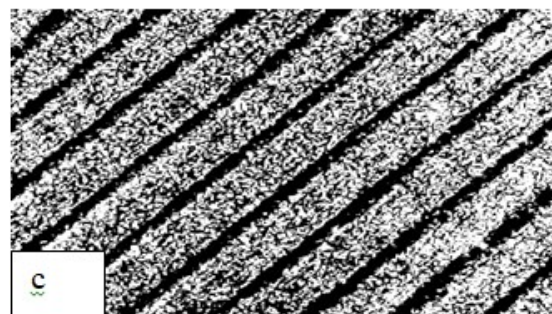
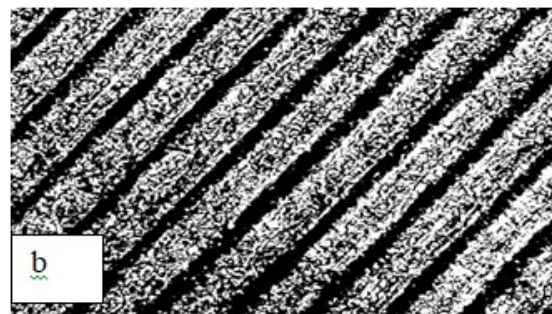
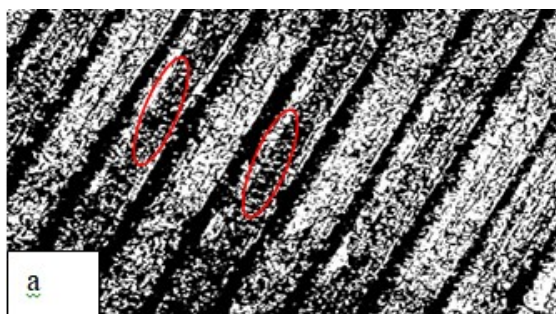
Hasil pengolahan citra gambar *makroskopik* dari sampel ditunjukkan pada Gambar 3.1 Gradasi warna gelap menunjukkan hubungan yang proporsional antara tingkat kedalaman kontur permukaan sample, warna gelap menunjukkan posisi permukaan sample yang lebih rendah dibandingkan warna yang lebih terang. Gambar 3.1a menunjukkan sebagian sebaran warna gelap yang lebih mendominasi permukaan sample yang ditunjukkan oleh lingkaran berwarna merah. Sebaran kedalaman kontur pada permukaan sample ini dapat berarti porositas di atas lelehan polimer yang tersebar lebih dominan pada sample yang difabrikasi menggunakan kecepatan printing 30 mm/s dibandingkan sample yang difabrikasi menggunakan kecepatan printing 60 mm/s dan 90 mm/s.

Hal ini dapat diakibatkan karena pada kecepatan printing 30 mm/s pergerakan nozzle berlangsung lebih lambat, sehingga energi panas yang terdapat pada permukaan *nozzle* mempengaruhi lelehan polimer yang sudah dibuat sebelumnya, pada waktu yang lebih lama lelehan polimer yang dibuat akan cenderung sulit mencapai fase padat karena akan terpengaruh panas dibanding kecepatan printing 60 mm/s dan 90 mm/s seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1b dan 3.1c yang memperlihatkan warna dengan kontras yang lebih terang. Nilai lebar deposisi polimer untuk tiap variasi kecepatan ditunjukkan pada Tabel 3.1.

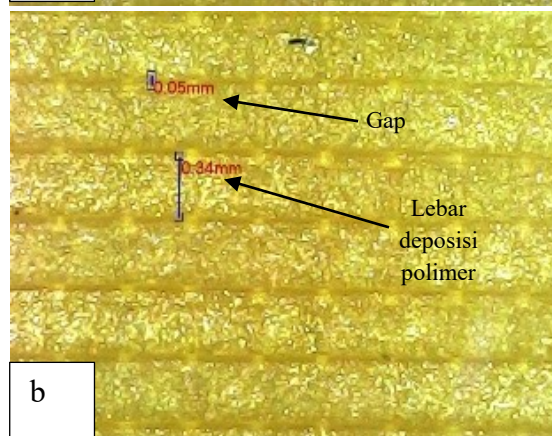
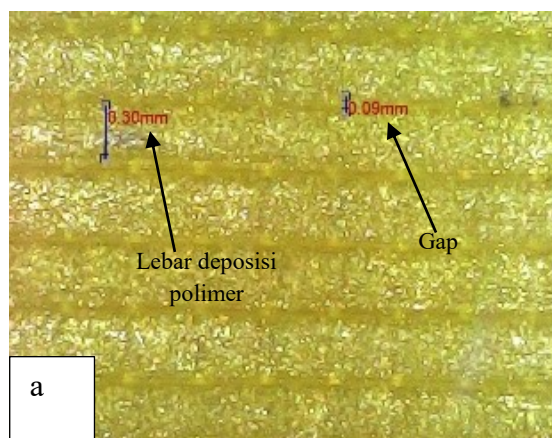
Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan, nilai deposisi polimer untuk kecepatan printing 30 mm/s, 60 mm/s, dan 90 mm/s berturut-turut adalah sebesar 0,30 mm, 0,34 mm, dan 0,35 mm yang pengukurannya ditunjukkan oleh Gambar 3.2. berdasarkan hasil *image processing* pada Gambar 3.1 hasil permukaan printing terbaik ditemukan pada sample yang difabrikasi menggunakan kecepatan printing 90 mm/s. Hal ini diketahui berdasarkan jarak antar gap yang lebih stabil dan lebar deposisi polimer yang lebih homogen apabila dibandingkan dengan sample yang menggunakan kecepatan printing 30 mm/s dan 60 mm/s.

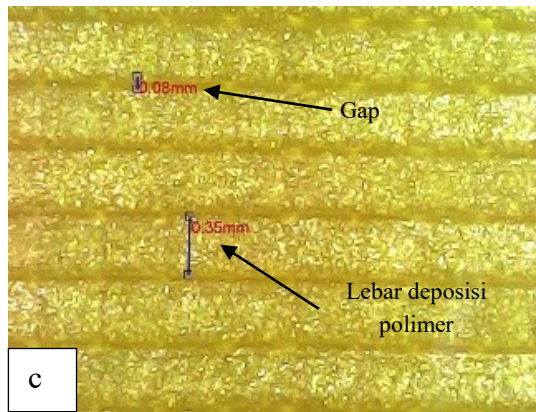
Nilai kedalaman permukaan sample tersebut secara langsung dapat mempengaruhi nilai kekasaran permukaannya, sehingga nilai *water contact angle* (WCA) berpotensi besar untuk berubah, hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Chen et al., 2020) yang pada penelitiannya menemukan pola kenaikan WCA pada permukaan sample *polylactide composite film* yang semakin memiliki sifat hidrofobik seiring lamanya waktu etsa (*etching*). Tabel 3.1 menunjukkan nilai pengukuran lebar deposisi polimer dan lebar gap pada tiap sample. Hubungan tiap-tiap tingkat kecepatan printing terhadap lebar deposisi polimer ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 3.3 dengan nilai hubungan persamaan linear dengan nilai  $y = 0,0008 x + 0,28$  dan lebar gap antar deposisi filamen pada permukaan sample menunjukkan hubungan persamaan linear  $y = -0,0002 x + 0,0833$ .

Diperlukan studi terhadap *water contact angle* (WCA) lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh kecepatan printing terhadap sudut kontak droplet di permukaan sample

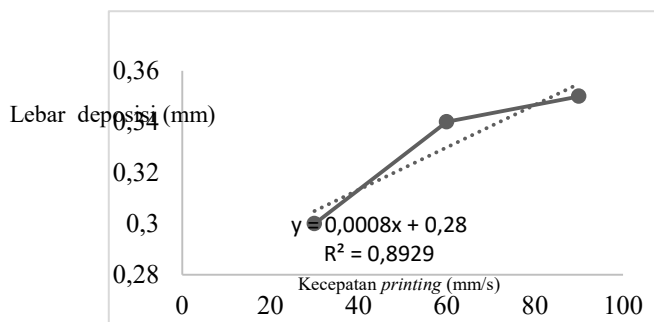


Gambar 3.1 Permukaan sample dengan kecepatan printing (a) 30 mm/s (b) 60 mm/s (c) 90 mm/s

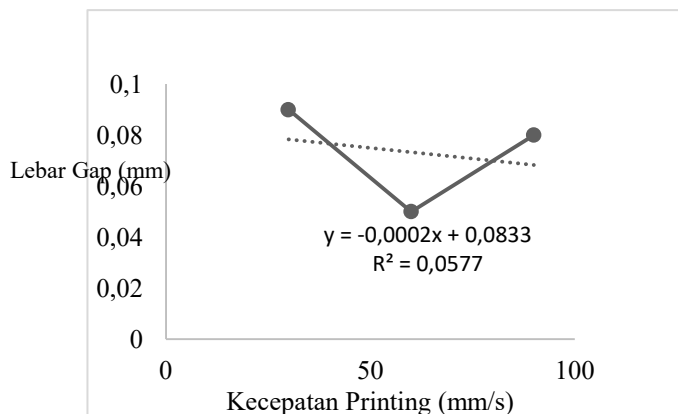




Gambar 3.2 Pengukuran nilai lebar deposisi polimer dan lebar gap pada sample yang dicetak menggunakan kecepatan printing (a) 30 mm/s, (b) 60 mm/s, (c) 90 mm/s



Gambar 3.3 Grafik hubungan kecepatan printing terhadap lebar deposisi polimer PLA



Gambar 3.4 Grafik hubungan kecepatan printing terhadap lebar gap hasil printing

#### IV. Kesimpulan

Variasi kecepatan printing sebesar 30 mm/s, 60 mm/s, dan 90 mm/s terhadap nilai lebar deposisi polimer material filamen PLA menunjukkan hubungan persamaan linear dengan nilai  $y = 0,0008x + 0,28$  dan lebar gap

antar deposisi filamen pada permukaan sample menunjukkan hubungan persamaan linear  $y = -0,0002x + 0,0833$ . Kualitas hasil fabrikasi sample yang terbaik ditunjukkan oleh sample yang difabrikasi menggunakan kecepatan printing sebesar 90 mm/s.

#### Daftar Pustaka

- Akindoyo, J. O., Hossen Beg, M. D., Ghazali, S., & Islam, M. R. (2016). The effects of wettability, shear strength, and Weibull characteristics of fiber-reinforced poly(lactic acid) composites. *Journal of Polymer Engineering*, 36(5), 489–497. <https://doi.org/10.1515/polyeng-2015-0215>
- Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(3), 899–919. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>
- Chen, Y., Sun, Z. B., Li, Y. S., Lin, H., Li, Y., Pan, M., Zhong, G. J., & Li, Z. M. (2020). Tuning wettability and mechanical property of polylactide composite films with in-situ nanofibrils of poly(butylene adipate-co-terephthalate). *Composites Communications*, 22(October). <https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.100515>
- Han, S., Sung, J., & So, H. (2020). Simple Fabrication of Water Harvesting Surfaces Using Three-Dimensional Printing Technology. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s40684-020-00263-x>
- Jiang, C., & Zhao, G. F. (2015). A Preliminary Study of 3D Printing on Rock Mechanics. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 48(3), 1041–1050. <https://doi.org/10.1007/s00603-014-0612-y>
- Matsuzaki, R., Kanatani, T., & Todoroki, A. (2019). Multi-material additive

- manufacturing of polymers and metals using fused filament fabrication and electroforming. *Additive Manufacturing*, 29(February).  
<https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100812>
- Modi, U., & Prakash, S. (2019). Wettability of 3D printed polylactic acid (PLA) parts. *AIP Conference Proceedings*, 2148(September).  
<https://doi.org/10.1063/1.5123974>
- Mohd Nizar, M., Hamzah, M. S. A., Abd Razak, S. I., & Mat Nayan, N. H. (2018). Thermal Stability and Surface Wettability Studies of Polylactic Acid/Halloysite Nanotube Nanocomposite Scaffold for Tissue Engineering Studies. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 318(1), 0–8.  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/318/1/012006>
- Nazir, A., Gokcekaya, O., Md Masum Billah, K., Ertugrul, O., Jiang, J., Sun, J., & Hussain, S. (2023). Multi-material additive manufacturing: A systematic review of design, properties, applications, challenges, and 3D printing of materials and cellular metamaterials. *Materials and Design*, 226.  
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.111661>
- Rehmani, M. A. A., Jaywant, S. A., & Arif, K. M. (2021). Study of microchannels fabricated using desktop fused deposition modeling systems. *Micromachines*, 12(1), 1–20.  
<https://doi.org/10.3390/mi12010014>
- Sathies, T., Senthil, P., & Anoop, M. S. (2020). A review on advancements in applications of fused deposition modelling process. *Rapid Prototyping Journal*, 26(4), 669–687.  
<https://doi.org/10.1108/RPJ-08-2018-0199>