

Optimasi Parameter Proses 3D Printing pada Pencetakan Model *Tooth Bucket* menggunakan *Nozzle 0,6 mm*

D. Andriyansyah^{a,*}, R. Kristiyono^b, M. Chamim^a, Herianto^c

^aProdi D3 Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta

Jl. Raya Solo - Baki No.Km 2, Kwarasan, Kec. Grogol, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah 57552, Indonesia.

^bProdi D3 Teknik Elektronika, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta

Jl. Raya Solo - Baki No.Km 2, Kwarasan, Kec. Grogol, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah 57552, Indonesia.

^cDepartemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

Jl. Grafika No.2, Senolowo, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281, Indonesia.

*E-mail: deni.andriyansyah@sttw.ac.id

Abstract

This research aims to determine the optimum process parameters for printing tooth bucket models. The filament material used is Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG). Specimens were printed using a Delta type 3D printer. By using a 0.6 mm nozzle, the object is printed at a printing temperature of 215 °C and a printing speed of 60 mm/s. In this study, the parameters tested were wall thickness and infill density to minimize defects due to under extrusion, visible infill, and pillowing. The first specimen was printed with a wall thickness of 0.8 mm and an infill density of 20%. However, the print result of the first specimen still had visual defects, so the second specimen used wall thickness parameters of 1.8 mm and infill density of 50%. The printed object showed quite good results and there were no defects like the first specimen. Then the second printing parameter is used to print the tooth bucket model. By using these process parameters, objects can be produced quite quickly with material that remains economical.

Keywords : *infill density; nozzle; parameter; tooth bucket; wall thickness*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter proses optimum pada pencetakan model *tooth bucket*. Material filamen yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG). Specimen dicetak menggunakan mesin 3D printer tipe Delta. Dengan penggunaan *nozzle 0,6 mm*, objek dicetak pada *printing temperature 215 °C* dan *printing speed 60 mm/s*. Pada penelitian ini, parameter yang diuji adalah *wall thickness*, dan *infill density* untuk meminimalisasi cacat akibat *under extrusion*, *visible infill*, dan *pillowing*. Spesimen pertama dicetak dengan *wall thickness 0,8 mm* dan *infill density 20%*. Namun hasil cetak spesimen pertama masih mengalami cacat visual sehingga pada spesimen kedua digunakan parameter *wall thickness 1,8 mm* dan *infill density 50%*. Objek hasil cetak menunjukkan hasil yang cukup bagus dan tidak ditemui cacat-cacat seperti pada spesimen pertama. Kemudian parameter pencetakan kedua digunakan untuk mencetak model *tooth bucket*. Dengan penggunaan parameter proses tersebut, dapat dihasilkan objek dengan waktu yang cukup cepat dan material yang tetap hemat.

Kata kunci : *infill density; nozzle; parameter; tooth bucket; wall thickness*

1. Pendahuluan

Metode manufaktur 3D *printing* (cetak 3 dimensi) merupakan metode manufaktur baru yang bekerja dengan menumpuk lapisan-lapisan material sehingga termasuk pada kategori *additive manufacturing*. Teknologi ini pada awalnya hanya digunakan untuk membuat *prototype*. Namun perkembangannya yang pesat membuat teknologi 3D *printing* mulai diaplikasikan pada pembuatan produk-produk final/fungsional. Aplikasi teknologi 3D *printing* sangat luas, meliputi bidang manufaktur, aeronautika, medis, 3D *modelling* dan lain sebagainya [1].

Fused Deposition Method (FDM) merupakan salah satu metode 3D *printing* yang paling populer digunakan [2]. Teknologi FDM menawarkan proses manufaktur objek dengan geometri yang kompleks [3] dengan relatif lebih mudah dan murah bila dibandingkan dengan CNC maupun *injection moulding*. Pada FDM, filamen diumpankan ke dalam *ekstruder* yang dipanaskan pada temperatur tertentu kemudian didorong keluar melalui sebuah *nozzle* untuk menghasilkan lapisan-lapisan objek. Mekanisme penumpukan lapisan demi lapisan ini membuat objek hasil 3D *printing*

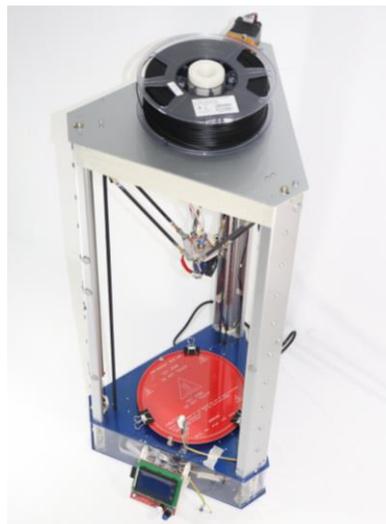
memiliki kekurangan dibandingkan dengan objek semisalnya seperti objek hasil *injection moulding*. Hal ini terutama terlihat pada kekuatan mekanis yang lebih rendah [4] serta waktu pencetakan objek yang lebih lama.

Proses pencetakan objek 3D printing dapat dipercepat dengan mengatur beberapa parameter. Diantaranya yaitu meningkatkan *feedrate*, mengatur *infill* (isian) objek, serta memperbesar ketinggian *layer* [5]. Di samping mempercepat proses cetak, perubahan beberapa parameter tersebut juga mempunyai kekurangan. Peningkatan *feedrate* akan mempengaruhi kualitas permukaan objek [6], *infill* mempengaruhi kekuatan objek cetak [7][8] sedangkan *layer* yang besar membuat detail objek cetak menjadi terbatas [5]. Selain memperbesar ketinggian *layer*, proses pencetakan objek dapat dipercepat dengan menggunakan *nozzle* yang lebih besar. Hal ini akan memperbesar jangkauan variasi ketinggian *layer* serta meningkatkan ukuran lebar *layer*, sehingga secara bersamaan dapat mengurangi jumlah *layer* yang terbentuk pada objek cetak.

Kualitas objek hasil 3D *printing* dipengaruhi oleh parameter-parameter proses pencetakan. Optimasi parameter proses diperlukan untuk mendapatkan kualitas objek hasil cetak yang optimum. Pengaturan parameter yang kurang tepat akan menimbulkan cacat baik pada permukaan objek maupun dari sifat mekanisnya. Pada umumnya ukuran *nozzle* yang digunakan pada mesin 3D *printer* adalah 0,4 mm [9][10]. Ukuran *nozzle* tersebut kurang optimal jika digunakan untuk mencetak objek-objek dengan ukuran besar. Dalam penelitian ini dilakukan studi eksperimen untuk mengetahui parameter cetak yang optimum untuk mencetak objek besar berupa model *tooth bucket* menggunakan *nozzle* 0,6 mm agar dapat menghasilkan kualitas permukaan objek cetak yang maksimal. Model *tooth bucket* yang dihasilkan akan digunakan pada proses pencetakan *tooth bucket* di industri pengecoran logam.

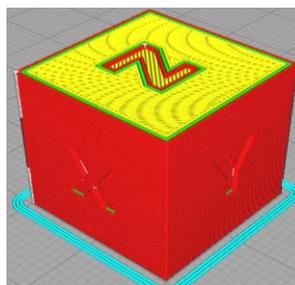
2. Material dan Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan metode eksperimen. Eksperimen dilakukan dengan menguji parameter cetak terhadap karakter visual spesimen hasil cetak. Parameter cetak yang diuji yaitu *wall thickness* dan *infill density*. Alat yang digunakan untuk mencetak adalah mesin 3D *printer* tipe Delta dengan area kerja diameter 20 cm dan tinggi 40 cm seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Delta 3d printer

Material filamen yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG) dengan massa jenis 1.23 g/cm^3 . Filamen PETG merupakan salah satu material yang sering digunakan pada proses 3D *printing* FDM. Diameter nominal filamen yang digunakan adalah 1.75 mm dengan warna oranye.



Gambar 2. Spesimen Uji

Spesimen uji yang berbentuk kubus dengan ukuran 20x20x20 mm seperti yang ditunjukkan Gambar 2 dicetak menggunakan 3D *printer*. Spesimen uji dicetak menggunakan parameter standar seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

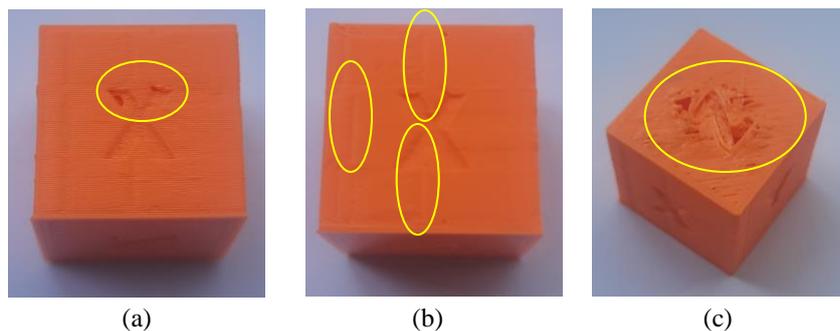
Analisis secara visual kemudian dilakukan pada objek hasil cetak untuk mengetahui karakter permukaan objek cetak. Hasil analisis kemudian digunakan sebagai dasar dalam penentuan parameter cetak spesimen berikutnya. Jika hasil analisis karakter permukaan spesimen kedua dapat diterima, maka parameter pencetakan kedua akan digunakan untuk mencetak model *tooth bucket*.

Tabel 1. Kombinasi parameter proses 3d printing

Parameter	Nominal	Unit	Keterangan
<i>Layer Height</i>	0.3	mm	Ketinggian antar lapisan
<i>Wall Thickness</i>	0.8	mm	Tebal antara dinding terluar dengan <i>infill</i>
<i>Infill Density</i>	25	%	Persentase isian dalam objek (kosong-padat)
<i>Printing Temp.</i>	215	°C	Temperatur <i>nozzle</i> saat proses pencetakan
<i>Bed Temp.</i>	60	°C	Temperatur <i>bed</i> saat proses pencetakan
<i>Print Speed</i>	60	mm/s	Kecepatan Pencetakan
<i>Fan Speed</i>	100	%	Kecepatan kipas pendingin objek

3. Hasil dan Pembahasan

Kualitas permukaan spesimen pertama diamati secara visual dan memiliki beberapa cacat permukaan seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Cacat yang terjadi diantaranya adalah; (a). *under extrusion*, (b). *visible infill*, dan (c). *pillowing*. *Under extrusion* adalah kondisi dimana objek cetak mengalami proses ekstrusi filamen yang tidak konsisten sehingga menyebabkan lubang-lubang kecil pada dinding objek cetak. *Under extrusion* dapat disebabkan oleh dinding objek yang terlalu tipis atau persentase *infill* yang terlalu rendah. *Visible infill* terjadi ditandai dengan terlihatnya garis *patern infill* dari luar permukaan objek. Garis *infill* yang terlihat dari luar disebabkan oleh dinding objek yang terlalu tipis. Sementara *pillowing* merupakan kondisi dimana permukaan objek bagian atas berlubang. *Pillowing* dapat terjadi karena persentase *infill* yang terlalu rendah sehingga struktur bagian atas objek tidak mendapatkan landasan yang cukup ketika proses ekstrusi.



Gambar 3. Spesimen pertama; (a) *under extrusion*, (b) *visible infill*, (c) *pillowing*

Berdasarkan perkiraan awal, beberapa cacat permukaan objek dipengaruhi oleh dua parameter utama, yaitu *wall thickness* dan *infill density*. Parameter proses pencetakan spesimen pertama digunakan sebagai dasar untuk menentukan parameter proses pencetakan spesimen kedua. Maka dari itu, percobaan kembali dilakukan pada pencetakan spesimen kedua dengan merubah nilai pada kedua parameter tersebut. Perubahan parameter pada proses pencetakan spesimen kedua ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perubahan parameter proses spesimen kedua

Parameter	Spesimen Pertama	Spesimen Kedua	Unit
<i>Layer Height</i>	0.3	0.3	mm
<i>Wall Thickness</i>	0.8	1.8	mm
<i>Infill Density</i>	20	50	%
<i>Printing Temp.</i>	215	215	°C
<i>Bed Temp.</i>	60	60	°C
<i>Print Speed</i>	60	60	mm/s
<i>Fan Speed</i>	100	100	%

Berdasarkan pengamatan, spesimen kedua menunjukkan kualitas permukaan yang lebih baik dibandingkan dengan spesimen pertama. Beberapa cacat permukaan yang terjadi pada permukaan spesimen pertama tidak ditemukan pada spesimen kedua. Gambar 4. menunjukkan beberapa sisi permukaan spesimen kedua.

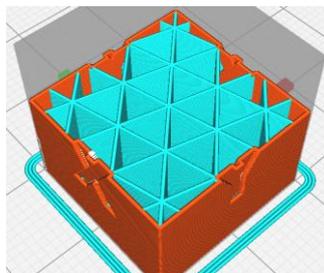


Gambar 4. Spesimen kedua

Lebar dinding objek minimal adalah nilai nominal diameter *nozzle*. Pengaturan tebal dinding objek merupakan kelipatan dari ukuran diameter *nozzle*. Jumlah dinding objek pada umumnya diatur minimal 2 lapis untuk menghindari kemungkinan terjadinya *under extrusion*. Proses pembentukan dinding objek dimulai dari bagian dalam objek menuju keluar. Kecepatan ekstrusi dinding objek bagian luar diatur setengah kali kecepatan ekstrusi dinding objek bagian dalam. Hal ini bertujuan untuk menjaga kualitas permukaan objek agar lebih halus. Selain untuk mempertahankan stabilitas bentuk objek, lapisan dinding bagian dalam berfungsi sebagai pengikat bagi lapisan dinding sebelah luar sehingga memperkecil kemungkinan terjadinya *under extrusion*.

Ukuran *nozzle* dan *wall thickness* yang digunakan dapat mempengaruhi jumlah lapisan dinding objek. Jumlah lapisan objek dihasilkan dari bilangan bulat hasil pada pembagian ukuran *wall thickness* dengan ukuran *nozzle*. *Wall thickness* pada spesimen 1 diatur pada nilai 0,8 mm sedangkan *nozzle* yang digunakan adalah 0,6 mm. Dengan demikian, pengaturan *wall thickness* 0,8 mm hanya menghasilkan satu lapisan dinding objek. Pengaturan ini menyebabkan kemungkinan terjadinya *under extrusion* menjadi lebih besar karena dinding luar tidak memiliki ikatan dengan dinding bagian dalam. Pada spesimen kedua, *wall thickness* diatur pada nilai 1,8 mm sehingga menghasilkan tiga lapisan dinding objek. Lapisan dinding yang lebih tebal dapat memperkecil terjadinya *under extrusion* karena lapisan dinding terluar dapat berikatan dengan baik dengan lapisan dinding bagian dalamnya. Objek cetak yang memiliki *wall thickness* lebih besar menyebabkan kualitas permukaan dinding spesimen kedua lebih baik dari spesimen pertama. Peningkatan *wall thickness* menurunkan kekasaran permukaan objek [11] sebagai akibat dari stabilitas bentuk objek yang lebih baik.

Objek cetak dapat diatur tingkat isiannya melalui parameter *infill density* dengan nilai 0-100% masing-masing merupakan representasi kosong-pejal. Persentase *infill density* semakin rendah akan menghemat konsumsi material dan mempercepat proses pencetakan objek. Namun pengaturan *infill density* yang terlalu rendah dapat membuat objek menjadi mudah terdeformasi. Lapisan *infill* menempel dengan lapisan dinding objek untuk menghasilkan ikatan lapisan yang lebih kuat sehingga bentuk geometri objek dapat terjaga. Volume objek cetak akan mengalami penyusutan ketika temperatur objek mendekati temperatur ruangan. Hal ini akan menimbulkan gaya tarik antara lapisan *infill* dengan dinding objek yang saling bersinggungan. Persinggungan antara lapisan *infill* (biru) dan dinding objek (oranye) ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Ikatan antara lapisan dinding objek dan *infill*

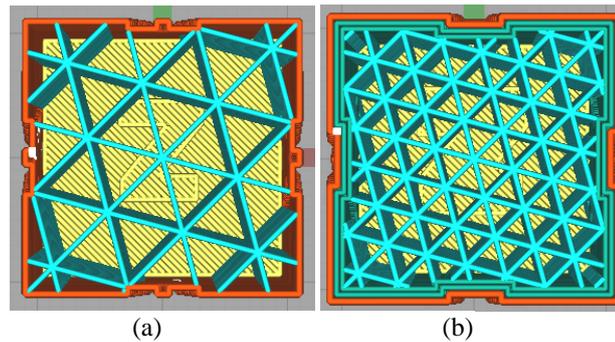
Spesimen pertama hanya memiliki satu lapisan dinding sehingga penyusutan objek yang terjadi adalah ke arah *infill* objek. Penyusutan ditandai dengan adanya cekungan pada permukaan dinding objek di sepanjang garis *infill* sehingga menyebabkan *infill density* seolah-olah terlihat pada permukaan dinding objek. Spesimen kedua memiliki tiga lapisan dinding dimana lapisan dinding paling luar dan lapisan dinding berikutnya berperan dalam menutupi cekungan yang terjadi pada dinding paling dalam. Hal inilah yang membuat *visible infill* tidak terjadi pada spesimen kedua. Hal ini terkonfirmasi pada penelitian Vidakis, dkk [8] bahwa *infill density* yang semakin tinggi berkontribusi terhadap peningkatan kualitas permukaan objek yang lebih baik.

Lapisan paling atas objek (*top layer*) secara *default* terdiri dari dua lapisan yang berada tepat di atas lapisan *infill* paling atas. *Top layer* yang menempel secara langsung dengan lapisan *infill* disebut dengan *top layer* pertama.

Sedangkan *top layer* yang paling luar (secara langsung menempel dengan *top layer* pertama) disebut dengan *top layer* kedua. Lapisan *infill* juga berperan serta untuk menjaga stabilitas permukaan bagian atas objek agar permukaan objek tetap utuh.

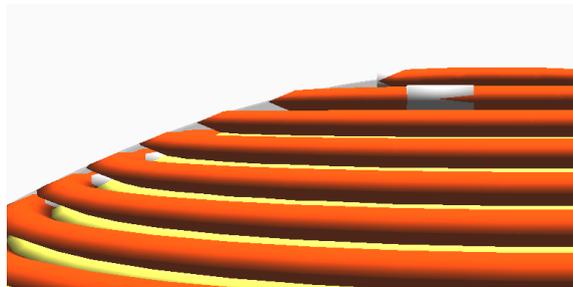
Pada spesimen pertama, *infill density* diatur pada nilai 20% dan hasil cetaknya timbul *pillowing*. *Infill density* yang rendah menunjukkan bahwa bagian dalam objek cetak mempunyai tingkat isian yang rendah. *Top layer* pada spesimen pertama tidak mendapatkan landasan yang cukup ketika proses pencetakan sehingga *top layer* jatuh ke dalam lubang *infill* dan menyebabkan *layer* yang terbentuk menjadi tidak rata. *Top layer* kedua tidak tercetak secara sempurna (tidak rata) karena pengaruh *top layer* pertama sehingga *pillowing* sangat terlihat pada spesimen pertama.

Sementara itu, *infill density* spesimen kedua diatur pada nilai 50%. Tingkat isian tersebut dapat memberikan landasan yang cukup untuk pencetakan *top layer*. Hal ini menyebabkan *pillowing* tidak terjadi pada spesimen kedua. Perbandingan *infill density* antara spesimen pertama dan kedua dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan *infill density* spesimen pertama (a) dan kedua (b)

Parameter spesimen kedua kemudian digunakan untuk mencetak model *tooth bucket*. Model *tooth bucket* mempunyai bentuk permukaan yang kompleks dan memungkinkan terjadi cacat jika parameter pencetakan yang digunakan kurang tepat. Hal ini terutama akan dijumpai pada kontur model yang membentuk radius dimana kontur ini akan mengalami *ladder effect* [12] sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7. *Ladder effect* akan menyebabkan permukaan objek menjadi berlubang jika *wall thickness* dan *infill density* diatur pada nilai yang terlalu kecil. Penambahan nilai parameter akan memperkecil kemungkinan terjadinya cacat, namun proses pencetakan akan memakan waktu lebih lama dan material yang lebih banyak. Penentuan nilai parameter harus dilakukan dengan hati-hati agar proses pencetakan tidak terlalu lama, konsumsi material yang relatif hemat, namun tetap menghasilkan kualitas permukaan yang cukup baik.



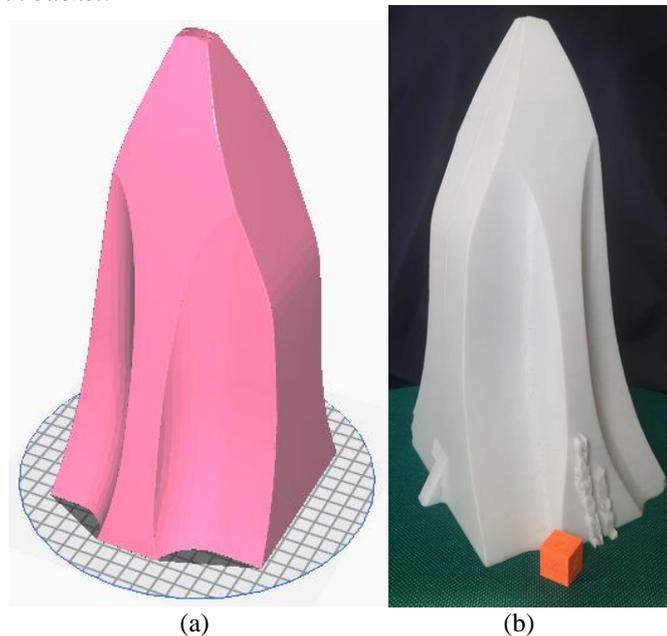
Gambar 7. Ilustrasi *ladder effect* pada kontur radius

Penggunaan *nozzle* dengan diameter yang lebih besar bertujuan untuk menghemat waktu cetak. Pada umumnya, mesin-mesin 3D printer menggunakan *nozzle* dengan diameter 0,4 mm. Sedangkan dalam penelitian ini *nozzle* yang digunakan berdiameter 0,6 mm. *Software slicer* dapat memprediksi waktu cetak dan konsumsi material untuk mencetak sebuah objek. Tabel 3. menunjukkan perbandingan waktu cetak dan konsumsi material antara *nozzle* 0,4 dan 0,6 mm untuk objek *tooth bucket* dan parameter yang sama. Berdasarkan nilai prediksi *software slicer*, penggunaan *nozzle* 0,6 mm dapat menghemat waktu cetak sebesar 30,3 %. Sedangkan konsumsi material antara *nozzle* 0,4 dan 0,6 mm hampir sama karena prinsip pencetakan 3 dimensi adalah mengisi ruang objek yang ada.

Tabel 3. Perbandingan konsumsi waktu dan material

Parameter	Nozzle 0,4 mm	Nozzle 0,6 mm
Waktu Cetak (menit)	2983	2080
Material (gram)	1626	1628

Objek hasil cetak menunjukkan hasil yang cukup bagus dimana tidak ditemui cacat-cacat seperti pada spesimen pertama seperti ditunjukkan oleh Gambar 8. Objek dicetak pada *printing temperature* 215 °C dan *printing speed* 60 mm/s. Penggunaan *nozzle* 0,6 mm, pengaturan *wall thickness* pada ketebalan 1,8 mm, dan *infill density* 50% cukup tepat untuk menghindari *under extrusion*. Permukaan model *tooth bucket* cukup halus dan dapat digunakan sebagai media dalam pengecoran *tooth bucket*.



Gambar 8. (a) Model *tooth bucket* dan (b) hasil cetak *tooth bucket*

4. Kesimpulan

Kualitas objek hasil 3D *printing* dipengaruhi oleh parameter-parameter proses pencetakan. Pada penelitian ini, diuji parameter *wall thickness* dan *infill density* pada spesimen uji coba. Dengan penggunaan *nozzle* 0,6 mm, objek dicetak pada *printing temperature* 215 °C dan *printing speed* 60 mm/s. Parameter optimum yang diperoleh cukup baik dalam menghindari *under extrusion*, yaitu pada *wall thickness* 1,8 mm dan *infill density* 50%. Objek hasil cetak menunjukkan hasil yang cukup bagus dan tidak ditemui cacat-cacat seperti pada spesimen pertama. Kemudian parameter pencetakan kedua digunakan untuk mencetak model *tooth bucket*. Dengan penggunaan parameter proses tersebut, dapat dihasilkan objek dengan waktu yang cukup cepat dan material yang cukup hemat

Daftar Pustaka

- [1] P. Wang, B. Zou, and S. Ding, "Modeling of surface roughness based on heat transfer considering diffusion among deposition filaments for FDM 3D printing heat-resistant resin," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 161, no. June, p. 114064, 2019, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114064.
- [2] G. Bräuer, K. Sachsenhofer, and R. W. Lang, "Material and process engineering aspects to improve the quality of the bonding layer in a laser-assisted fused filament fabrication process," *Addit. Manuf.*, vol. 46, no. August 2020, 2021, doi: 10.1016/j.addma.2021.102105.
- [3] C. J. Darling, C. Curtis, B. J. Sciacca, K. Sarkar, and D. A. Smith, "Fused filament fabrication of complex anatomical phantoms with infill-tunable image contrast," *Addit. Manuf.*, vol. 52, no. February, p. 102695, 2022, doi: 10.1016/j.addma.2022.102695.
- [4] S. Guessasma, S. Belhabib, and H. Nouri, "Microstructure and mechanical performance of 3D printed wood-PLA/PHA using fused deposition modelling: Effect of printing temperature," *Polymers (Basel)*, vol. 11, no. 11, pp. 1–17, 2019, doi: 10.3390/polym11111778.
- [5] V. Bhosale, P. Gaikwad, S. Dhere, C. Sutar, and S. J. Raykar, "Analysis of process parameters of 3D printing for surface finish, printing time and tensile strength," *Mater. Today Proc.*, vol. 59, pp. 841–846, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.01.210.
- [6] P. Scallan, "Process parameters," *Process Plan.*, pp. 219–250, 2003, doi: 10.1016/b978-075065129-5/50007-6.
- [7] R. Srinivasan, W. Ruban, A. Deepanraj, R. Bhuvanesh, and T. Bhuvanesh, "Effect on infill density on mechanical properties of PETG part fabricated by fused deposition modelling," *Mater. Today Proc.*, vol. 27, pp. 1838–1842, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.797.
- [8] N. Vidakis, C. David, M. Petousis, D. Sigris, N. Mountakis, and A. Moutsopoulou, "The effect of six key process control parameters on the surface roughness, dimensional accuracy, and porosity in material extrusion 3D printing of polylactic acid: Prediction models and optimization supported by robust design analysis," *Adv.*

- Ind. Manuf. Eng.*, vol. 5, no. August, p. 100104, 2022, doi: 10.1016/j.aime.2022.100104.
- [9] B. Arifvianto, Y. B. Wirawan, U. A. Salim, S. Suyitno, and M. Mahardika, "Effects of extruder temperatures and raster orientations on mechanical properties of the FFF-processed polylactic-acid (PLA) material," *Rapid Prototyp. J.*, vol. 27, no. 10, pp. 1761–1775, 2021, doi: 10.1108/RPJ-10-2019-0270.
- [10] M. H. Hsueh *et al.*, "Effect of printing parameters on the thermal and mechanical properties of 3d-printed pla and petg, using fused deposition modeling," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 11, 2021, doi: 10.3390/polym13111758.
- [11] A. Yadav, B. Poorna Prakash, K. Sai Dileep, S. Arjuna Rao, and G. B. Veeresh Kumar, "An experimental examination on surface finish of FDM 3D printed parts," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.07.088.
- [12] A. E. Tontowi, *Laser Sintering: Teori, Simulasi Numerik dan Eksperimen*, 1st ed. Yogyakarta: UGM PRESS, 2018.