



Perbandingan Waktu Pencetakan dan Penggunaan Material pada Program Slicer 3d Print dengan Variasi Parameter *Support Normal dan Tree*

Muhammad Rizali^{1*}, Ika Friscila²

¹ Teknik Industri, Universitas Sari Mulia, Indonesia

² Pendidikan Profesi Bidan, Universitas Sari Mulia, Indonesia

Alamat: Universitas Sari Mulia, Jl. Pramuka No. 2 Banjarmasin Kalimantan Selatan

Korespondensi penulis: mechanicalpress@gmail.com

Abstract. 3D printing technology has revolutionized the way objects are designed and manufactured. One of the 3D printing methods is Fused Deposition Modeling (FDM). In the FDM process, thermoplastic filament is melted and extruded through a nozzle to build objects. An important aspect of FDM 3D printing is the use of support structures. Supports are necessary to support object parts that have overhangs or other complex geometries. There are two types of support structures, namely normal supports and tree supports. The selection of support type can affect printing time, material usage, and print quality. Slicer programs also play an important role in determining support parameters. This research aims to compare printing time and material usage on normal and tree support parameters with variations in slicer programs (Cura and Creality Slicer). This research uses a comparative experimental method. The independent variables in this research are support type (normal and tree), and the slicer programs used (Cura version 5.9 and Creality Slicer 6.0). The dependent variables in this research are printing time and material usage. In terms of print time, Creality software has a consistent print time, both for normal support and tree support. By comparing all parameters, Cura parameters with tree support can be selected, because it has the least material consumption, and a relatively short print time. The differences in time duration and material usage in 3D printing between different slicers are caused by the way each slicer processes 3D models and generates G-code for the printer. Each slicer uses different algorithms to calculate the extrusion path (toolpath) that the printer will follow. This affects the printing time and the amount of material used.

Keywords: 3D print, normal, slicer, support, tree

Abstrak. Teknologi 3D printing telah merevolusi cara merancang dan memproduksi objek. Salah satu metode 3D printing adalah Fused Deposition Modeling (FDM). Dalam proses FDM, filamen termoplastik dilelehkan dan diekstrusi melalui *nozzle* untuk membangun objek. Aspek penting dalam 3D printing FDM adalah penggunaan struktur *support*. *Support* diperlukan untuk mendukung bagian-bagian objek yang memiliki *overhang* atau geometri kompleks lainnya. Ada dua jenis struktur *support* yaitu *support normal* dan *support tree*. Pemilihan jenis *support* dapat memengaruhi waktu pencetakan, penggunaan material, dan kualitas hasil cetak. Program *slicer* juga berperan penting dalam menentukan parameter *support*. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan waktu pencetakan dan penggunaan material pada parameter *support normal* dan *tree* dengan variasi program *slicer* (Cura dan Creality Slicer). Penelitian ini menggunakan metode eksperimental komparatif. Variabel bebas pada penelitian ini adalah tipe *support* (normal dan *tree*), dan program *slicer* yang digunakan (cura versi 5.9 dan creality slicer 6.0). Variabel terikat pada penelitian ini adalah waktu pencetakan dan penggunaan material. Dari segi waktu print, *software* Creality mempunyai waktu print yang konsisten, baik untuk *support normal* maupun *support tree*. Dengan perbandingan semua parameter, maka dapat dipilih parameter Cura dengan *support tree*, dikarenakan mempunyai konsumsi material paling sedikit, dan waktu print yang cukup singkat. Perbedaan durasi waktu dan penggunaan material dalam pencetakan 3D antara *slicer* yang berbeda, disebabkan oleh cara masing-masing *slicer* memproses model 3D dan menghasilkan G-code untuk printer. Setiap *slicer* menggunakan algoritma berbeda untuk menghitung jalur ekstrusi (toolpath) yang akan diikuti oleh printer. Hal ini memengaruhi waktu cetak dan jumlah material yang digunakan.

Kata kunci: Cetak 3D, normal, pemotong, penyangga, pohon

1. LATAR BELAKANG

Teknologi 3D printing, atau pencetakan tiga dimensi, telah merevolusi cara merancang dan memproduksi objek fisik. Dengan menggunakan proses aditif, 3D printing memungkinkan pembuatan objek lapis demi lapis dari model digital, memberikan fleksibilitas dan kebebasan desain (Surya, 2020). Teknologi ini telah diaplikasikan secara luas di berbagai industri, mulai dari manufaktur dan kedokteran hingga arsitektur dan fashion. Kemampuannya untuk menghasilkan prototipe cepat, suku cadang kustom, dan bahkan organ buatan telah membuka kemungkinan baru dalam inovasi dan produksi.

Salah satu metode 3D printing adalah *Fused Deposition Modeling (FDM)*. Dalam proses FDM, filamen termoplastik dilelehkan dan diekstrusi melalui *nozzle* untuk membangun objek lapis demi lapis. Keunggulan FDM termasuk biaya rendah, kemudahan penggunaan, dan berbagai pilihan material (Pristiansyah et al., 2019). Teknologi 3D printing *Fused Deposition Modeling (FDM)* telah menjadi salah satu metode manufaktur aditif yang paling populer dan banyak digunakan. Kemampuannya untuk menciptakan objek kompleks dari model digital telah merevolusi berbagai industri, mulai dari prototipe cepat hingga produksi suku cadang fungsional.

Salah satu aspek penting dalam 3D printing FDM adalah penggunaan struktur *support*. Struktur *support* diperlukan untuk mendukung bagian-bagian objek yang memiliki *overhang* atau geometri kompleks lainnya (Zidni Hudaya et al., 2024). Tanpa *support*, bagian-bagian ini dapat mengalami deformasi atau kegagalan cetak. Ada dua jenis struktur *support* utama yang umum digunakan, yaitu *support normal* dan *support tree*. *Support normal* menciptakan struktur pendukung yang solid dan seragam, sedangkan *support tree* menciptakan struktur pendukung yang bercabang dan lebih organik (Zhang et al., 2019).

Pemilihan jenis *support* dapat memengaruhi waktu pencetakan, penggunaan material, dan kualitas hasil cetak. *Support normal* cenderung lebih kuat dan stabil, tetapi juga membutuhkan lebih banyak material dan waktu pencetakan. *Support tree*, di sisi lain, lebih efisien dalam penggunaan material dan waktu pencetakan, tetapi mungkin kurang stabil untuk mendukung bagian-bagian yang berat.

Selain jenis *support*, program *slicer* juga memainkan peran penting dalam menentukan parameter *support*. Program *slicer* seperti Cura dan Creality *Slicer* menawarkan berbagai opsi untuk menyesuaikan parameter *support*, seperti kepadatan, pola, dan jarak dari objek cetak. Perbedaan algoritma dan optimasi dalam program *slicer* yang berbeda dapat menghasilkan hasil yang berbeda dalam hal waktu pencetakan dan penggunaan material (Sunandar & Hidayat, 2019).

Efisiensi waktu dan penggunaan material sangat penting dalam berbagai aplikasi 3D printing, terutama dalam produksi massal atau pembuatan prototipe cepat (Lubis et al., 2016). Dalam pengembangan produk, pembuatan prototipe yang cepat dan murah sangat penting. Contoh lain adalah dalam aplikasi medis dan pendidikan. Dalam pembuatan implan atau prostetik yang disesuaikan, efisiensi waktu dan penggunaan material dapat mempercepat ketersediaan perangkat medis dan mengurangi biaya perawatan. Dalam lingkungan pendidikan dan penelitian, efisiensi waktu dan penggunaan material memungkinkan mahasiswa dan peneliti untuk melakukan lebih banyak percobaan dan eksplorasi dengan sumber daya yang terbatas.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan waktu pencetakan dan penggunaan material pada parameter *support* normal dan *tree* dengan variasi program *slicer* (Cura dan Creality *Slicer*). Penelitian ini mengkaji perbedaan waktu pencetakan dan penggunaan material untuk parameter *support* normal dan *tree* menggunakan program *slicer* Cura dan Creality *Slicer*.

2. KAJIAN TEORITIS

Teknologi 3D printing, juga dikenal sebagai manufaktur aditif (additive manufacturing), adalah proses pembuatan objek tiga dimensi dari model digital dengan cara menambahkan material lapis demi lapis (Putra & Sari, 2018). Teknologi ini telah merevolusi cara merancang dan memproduksi objek, membuka peluang baru dalam berbagai industri.

Kelebihan 3d printing adalah memungkinkan pembuatan objek dengan geometri kompleks yang sulit atau tidak mungkin dibuat dengan metode manufaktur tradisional; memungkinkan pembuatan prototipe dengan cepat dan murah, mempercepat proses pengembangan produk; memungkinkan pembuatan objek yang disesuaikan dengan kebutuhan individu; memungkinkan produksi objek di lokasi yang berbeda, mengurangi biaya transportasi dan logistic; proses aditif 3D printing menghasilkan lebih sedikit limbah dibandingkan dengan metode manufaktur subtraktif (Putero et al., 2024). Kekurangan metode 3d printing adalah kecepatan produksi 3D printing relatif lambat dibandingkan dengan metode manufaktur massal; biaya material 3D printing masih relatif tinggi, terutama untuk material khusus; jenis material yang dapat digunakan dalam 3D printing masih terbatas; kekuatan dan daya tahan objek 3D printing mungkin tidak sekuat objek yang dibuat dengan metode manufaktur tradisional; Ukuran objek yang dapat dicetak dengan 3D printing terbatas oleh ukuran build volume mesin (Sunarto et al., 2023).

Fused Deposition Modeling (FDM) adalah salah satu metode 3D printing yang paling umum dan banyak digunakan. Dalam proses FDM, filamen termoplastik dilelehkan dan diekstrusi melalui *nozzle* untuk membangun objek lapis demi lapis. Proses FDM dimulai dengan model digital 3D yang dibuat menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design (CAD)*. Model digital kemudian diiris (*sliced*) menjadi lapisan-lapisan tipis menggunakan perangkat lunak *slicer* (Pristiansyah; Hardiansyah; Sugiyarto, 2019). Filamen termoplastik dilelehkan di dalam *nozzle* dan diekstrusi lapis demi lapis sesuai dengan jalur yang ditentukan oleh perangkat lunak *slicer*. Setiap lapisan yang diekstrusi mendingin dan memadat, membentuk objek 3D. Untuk objek dengan *overhang* atau geometri kompleks, struktur penyangga (*support*) mungkin diperlukan untuk mendukung bagian-bagian yang tidak dapat dicetak secara langsung.

Dalam 3D printing FDM, struktur penyangga atau *support* merupakan elemen krusial untuk mencetak objek dengan geometri kompleks, khususnya yang memiliki *overhang* (bagian yang menggantung) atau jembatan (bagian yang menghubungkan dua titik tanpa dukungan di bawahnya). *Support* berfungsi untuk mencegah deformasi, keruntuhan, dan kegagalan cetak pada bagian-bagian tersebut. Jenis *support* terdiri dari tipe normal dan tipe *tree*. *Support* normal terdiri dari pilar-pilar atau dinding-dinding yang solid dan seragam, membentuk pola grid atau linear. Karakteristik *support* normal adalah memberikan dukungan yang kuat dan stabil; cocok untuk mendukung bagian-bagian yang berat atau memiliki *overhang* besar; cenderung membutuhkan lebih banyak material dan waktu pencetakan; pelepasan *support* dapat lebih sulit dan meninggalkan bekas pada permukaan objek. *Support tree* Terdiri dari struktur bercabang yang menyerupai pohon, dengan cabang-cabang yang semakin tipis menuju titik kontak dengan objek. Karakteristik *support tree* adalah lebih efisien dalam penggunaan material dan waktu pencetakan; lebih mudah dilepaskan dan meninggalkan bekas yang lebih sedikit pada permukaan objek; kurang stabil dibandingkan *support* normal, sehingga kurang cocok untuk mendukung bagian-bagian yang berat atau memiliki *overhang* besar; lebih baik dalam mendukung bentuk objek yang memiliki geometri yang organik. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan tipe *support* antara lain geometri objek, material (jenis material yang digunakan dapat memengaruhi kekuatan dan kemudahan pelepasan *support*), kualitas permukaan; waktu dan biaya (*support tree* umumnya lebih efisien dalam hal waktu dan biaya) (Zafran et al., 2023). Selain tipe *support*, terdapat beberapa parameter yang dapat disesuaikan untuk mengoptimalkan kinerja *support*, yaitu kepadatan *support*, pola *support* (misalnya, grid, zigzag), jarak *support* dari objek, dan sudut *overhang* (sudut dimana *support* dibutuhkan).

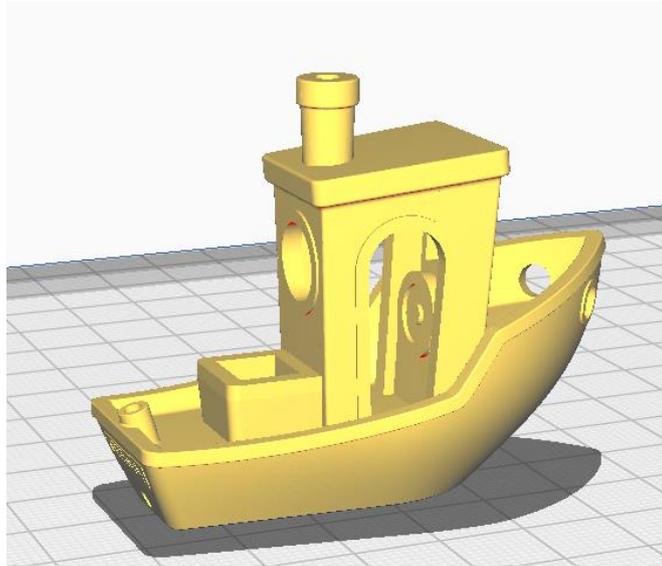
Perangkat lunak *slicer* merupakan komponen krusial dalam alur kerja 3D printing, khususnya untuk teknologi Fused Deposition Modeling (FDM). Fungsinya adalah untuk menerjemahkan model digital 3D menjadi instruksi yang dapat dipahami oleh mesin 3D printer. Secara spesifik, *slicer* melakukan proses "pemotongan" (*slicing*) model 3D menjadi lapisan-lapisan tipis, yang kemudian diubah menjadi kode G (G-code), yaitu bahasa pemrograman yang digunakan untuk mengontrol pergerakan mesin 3D printer (Sunandar & Hidayat, 2019). Fungsi utama *slicer* adalah membagi model 3D menjadi lapisan-lapisan horizontal dengan ketebalan yang dapat disesuaikan. Ketebalan lapisan ini mempengaruhi kualitas permukaan dan waktu pencetakan. Lapisan yang lebih tipis menghasilkan permukaan yang lebih halus, tetapi memerlukan waktu pencetakan yang lebih lama. Setelah model dipotong, *slicer* menghasilkan kode G yang berisi instruksi untuk pergerakan *nozzle*, ekstrusi material, dan parameter pencetakan lainnya. *Slicer* memungkinkan pengguna untuk mengatur berbagai parameter pencetakan, seperti suhu *nozzle* dan platform cetak, kecepatan pencetakan, kepadatan infill (pengisian internal), struktur penyangga (*support*), dan adhesi platform. Sebagian besar *slicer* menyediakan tampilan visual dari hasil pemotongan dan jalur pergerakan *nozzle*, memungkinkan pengguna untuk memeriksa dan mengoptimalkan parameter pencetakan sebelum memulai proses pencetakan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental komparatif. Variabel bebas pada penelitian ini adalah tipe *support* (normal dan *tree*), dan program *slicer* yang digunakan (cura versi 5.9 dan creality *slicer* 6.0). Variabel terikat pada penelitian ini adalah waktu pencetakan dan penggunaan material. Variabel control pada penelitian ini adalah mesin 3D printer (creality ender 3), parameter pencetakan dasar (ukuran *nozzle*=0,4 mm, suhu *nozzle*=200°C, suhu *platform*=60°C, *infill* 10%, *quality*=0,2 mm). Spesimen yang digunakan adalah model "*benchy*" (Gambar 1), yang memiliki geometri yang kompleks, termasuk *overhang* dan jembatan, untuk memaksimalkan kebutuhan struktur *support*. Langkah-langkah Penelitian :

- a. Buka model spesimen di Cura dan Creality *Slicer*.
- b. Atur parameter pencetakan dasar (suhu, kecepatan, dll.) secara konsisten di kedua *slicer*.
- c. Variasikan pengaturan *support* sebagai berikut: tipe *support*: normal dan *tree*. Untuk setiap tipe *support*, optimalkan parameter *support* (kepadatan, pola, dll.) Agar menghasilkan hasil terbaik di setiap *slicer*.

- d. *Slice* tiap model, sehingga didapatkan estimasi waktu dan penggunaan material pada masing-masing parameter.

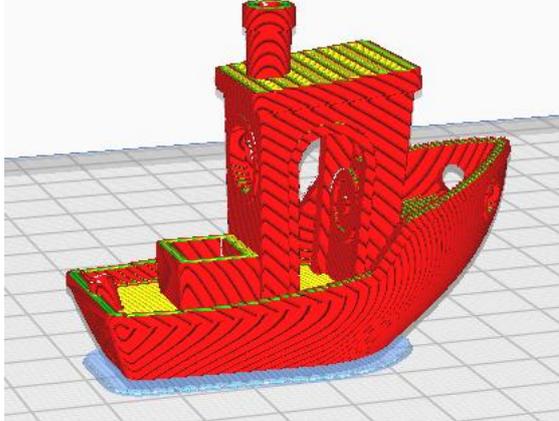
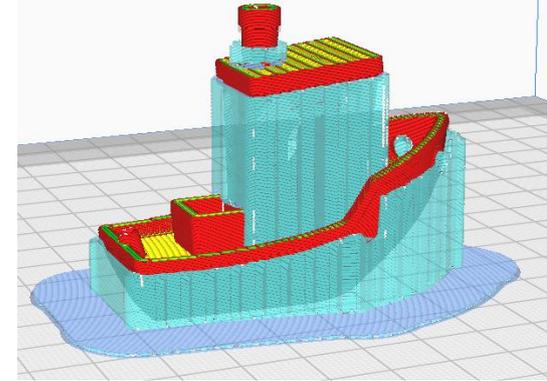
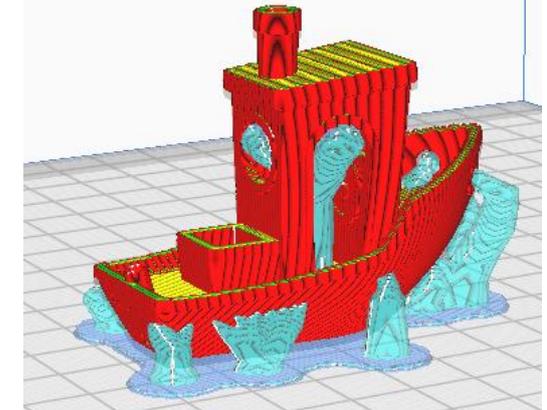


Gambar 1. Model spesimen

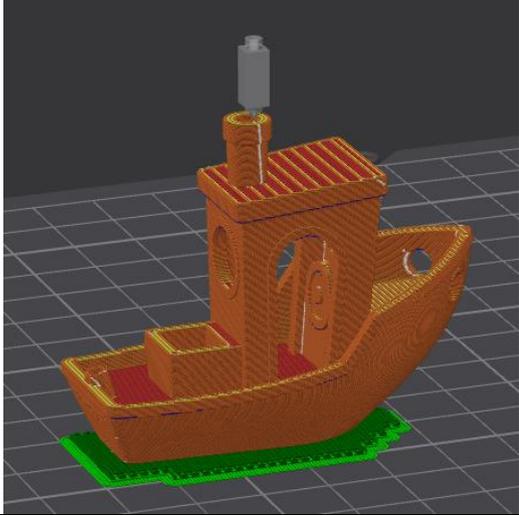
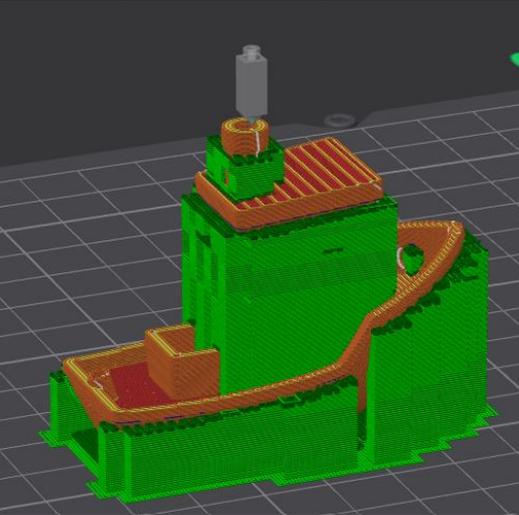
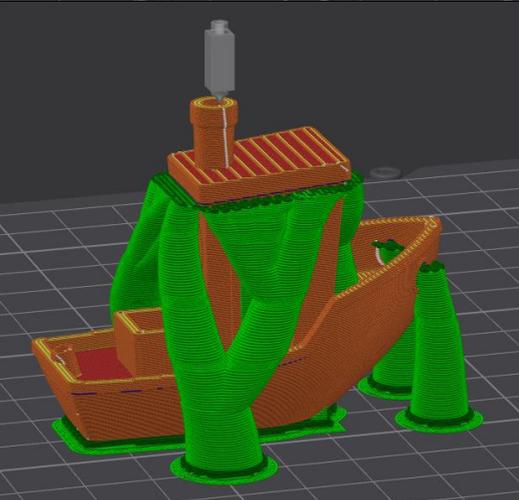
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

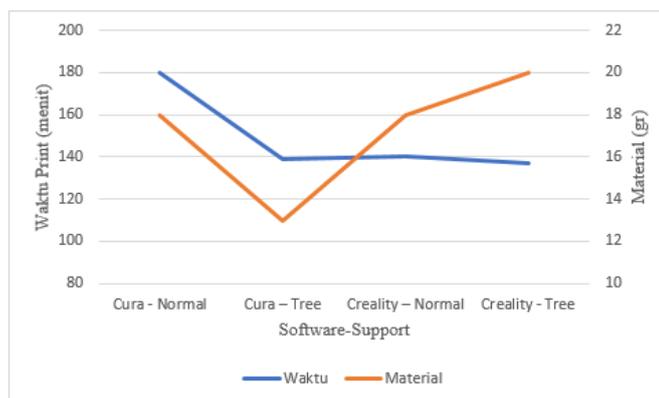
Berdasarkan hasil *slice* dari kedua *software*, untuk model yang sama, dengan variasi tipe *support*, maka hasil *slice* ditampilkan pada tabel 1 dan Gambar 2. Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat dilihat bahwa Cura dengan *support* normal memiliki waktu print yang paling lama, yaitu 180 menit. Waktu print paling singkat ada pada parameter Creality dengan *support tree*, yaitu 137 menit. Penggunaan material paling banyak ada pada parameter Creality dengan *support tree*, yaitu 20 gram, sedangkan yang paling sedikit adalah 13 gram, pada parameter Cura dengan *support tree*. Sebagai perbandingan, maka dilakukan juga simulasi pada kedua *software*, dengan pengaturan tanpa penambahan *support*. Hasil yang didapat, baik untuk parameter waktu, maupun penggunaan material, ditampilkan pada tabel 2. Berdasarkan perbandingan hasil penelitian, maka dapat ditentukan, parameter yang paling efisien, baik dari segi waktu ataupun penggunaan material.

Tabel 1. Data hasil *slice* pada parameter penelitian

Parameter	Gambar	Waktu Print (menit)	Penggunaan Material (gr)
Cura Non Support		105	11
Cura - Normal		180	18
Cura - Tree		139	13

PERBANDINGAN WAKTU PENCETAKAN DAN PENGGUNAAN MATERIAL PADA PROGRAM SLICER 3D PRINT DENGAN VARIASI PARAMETER SUPPORT NORMAL DAN TREE

<p>Creality - Non Support</p>		<p>90</p>	<p>12,3</p>
<p>Creality - Normal</p>		<p>140</p>	<p>18</p>
<p>Creality - Tree</p>		<p>137</p>	<p>20</p>



Gambar 2. Grafik waktu dan material pada parameter penelitian

Tabel 2. Analisis hasil penelitian dengan parameter tanpa *support*

<i>Software-Support</i>	Waktu	Material	Selisih Waktu dengan non <i>support</i> (menit)	Selisih material dengan non <i>support</i> (gram)
Cura Non <i>Support</i>	105	11		
Cura - Normal	180	18	75	7
Cura - <i>Tree</i>	139	13	34	2
Creality - Non <i>Support</i>	90	12,3		
Creality - Normal	140	18	50	5,7
Creality - <i>Tree</i>	137	20	47	7,7

Berdasarkan Gambar 2 dan Tabel 2, dapat dilihat bahwa parameter Cura dengan *support tree* hanya berselisih 2 gram dengan tanpa *support*, dengan kata lain massa *support tree* pada Cura hanya 2 gram. Hal yang berbeda dilihat pada *software* Creality, penggunaan *support tree* pada creality justru mempunyai massa yang lebih berat daripada *support normal*, dengan penambahan *support tree* sebanyak 7,7 gram. Berdasarkan gambar simulasi print pada tabel 1, dapat dilihat bahwa bentuk dan penempatan *support tree* pada kedua *software* mempunyai bentuk yang berbeda. Dengan bentuk *support* yang lebih kecil, maka waktu print dan penggunaan material akan lebih sedikit.

Dari segi waktu print, *software* Creality mempunyai waktu print yang konsisten, baik untuk *support normal* maupun *support tree*. Sedangkan pada Cura, waktu print dengan *support normal* memiliki waktu yang lebih lama. Jika dibandingkan semua parameter, maka dapat dipilih parameter Cura dengan *support tree*, dikarenakan mempunyai konsumsi

material paling sedikit, dan waktu print yang cukup singkat, tidak banyak perbedaan dengan *slicer* Creality.

Perbedaan durasi waktu dan penggunaan material dalam pencetakan 3D antara *slicer* yang berbeda, seperti Cura dan Creality *Slicer*, disebabkan oleh beberapa faktor utama yang berkaitan dengan cara masing-masing *slicer* memproses model 3D dan menghasilkan G-code untuk printer (Dyah et al., 2024). Setiap *slicer* menggunakan algoritma berbeda untuk menghitung jalur ekstrusi (toolpath) yang akan diikuti oleh printer. Hal ini memengaruhi waktu cetak dan jumlah material yang digunakan. Perbedaan kecil dalam cara *slicer* menginterpretasikan geometri model (terutama pada detail halus atau tepi) bisa memengaruhi jumlah material yang dihitung. *Slicer* menyediakan berbagai pengaturan parameter cetak, seperti kecepatan cetak, tinggi lapisan, kepadatan infill, dan pola infill. Perbedaan pengaturan ini dapat secara signifikan memengaruhi durasi waktu dan penggunaan material. Beberapa *slicer* dioptimalkan untuk printer 3D tertentu. Creality *Slicer* dioptimalkan untuk printer Creality, yang dapat menghasilkan hasil cetak yang lebih baik dan efisien pada printer tersebut.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam 3D printing FDM, struktur penyangga atau *support* merupakan elemen krusial untuk mencetak objek dengan geometri kompleks. Terdapat perbedaan waktu print dan penggunaan material untuk *software* Creality dan Cura pada masing-masing parameter tipe *support*. Dari segi waktu print, *software* Creality mempunyai waktu print yang konsisten, baik untuk *support* normal maupun *support tree*. Sedangkan pada Cura, waktu print dengan *support* normal memiliki waktu yang lebih lama. Dipilih parameter Cura dengan *support tree*, dikarenakan mempunyai konsumsi material paling sedikit, hanya menambah 2 gram untuk *support*, dan waktu print yang cukup singkat, hanya menambah waktu print 34 menit untuk menambahkan *support*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis sampaikan kepada seluruh sivitas akademika Universitas Sari Mulia, atas dukungan moril dan materiil sehingga penelitian ini dapat diselesaikan. Penghargaan kami ucapkan khusus kepada rekan sejawat di program studi Teknik Industri dan program studi Pendidikan Profesi Bidan, atas dukungan dan saran yang diberikan.

DAFTAR REFERENSI

- Dyah, R., Palupi, A. R., Setiawan, B., & Pracoyo, A. (2024). Kontrol high speed extruder pada 3D printer 2x2x2 meter berbasis MCU Bigtree. *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 11(1), 95–104. <https://doi.org/10.33795/ELKOLIND.V11I1.3516>
- Lubis, S., Djamil, S., & Yolanda, Y. (2016). Pengaruh orientasi objek pada proses 3D printing bahan polymer PLA dan ABS terhadap kekuatan tarik dan ketelitian dimensi produk. *SINERGI*, 20(1). <https://doi.org/10.22441/sinergi.2016.1.005>
- Pristiansyah, P., Hardiansyah, H., & Sugiyarto, S. (2019). Optimasi parameter proses 3D printing FDM terhadap akurasi dimensi menggunakan filament Eflex. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 11(1). <https://doi.org/10.33504/manutech.v11i01.98>
- Putero, G. A., Viqri, M., Risman, F., & Dewantara, A. G. (2024). Miniature design of 3D printed piston cup using PLA filament material in manufacturing process. *BIOMEJ*, 4(1), 27–32. <https://doi.org/10.33005/BIOMEJ.V4I1.103>
- Putra, K. S., & Sari, U. R. (2018). Pemanfaatan teknologi 3D printing dalam proses desain produk gaya hidup. *Seminar Nasional Sistem Informasi dan Teknologi Informasi 2018*.
- Sunandar, I. A., & Hidayat, T. (2019). Perancangan body lampu tidur dengan teknologi 3D printing. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Industri Pancasakti Tegal (SNaTIPs, 2)*, 21–25. <https://semnas.upstegal.ac.id/index.php/SNaTIPs/article/view/1101>
- Sunarto, G., Katmini, & Eliana, A. D. (2023). Efektivitas biaya penggunaan teknologi pencetakan 3D (Industri 4.0) pada alat bantu ortotik prostetik. *Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes*, 14(1).
- Surya, G. G. (2020). Gaya pendidikan 3D modelling (CAD/CAID) ke 3D printing sebagai langkah dasar desain sesuai revolusi industri keempat. *Jurnal Kreatif: Desain Produk Industri dan Arsitektur*, 7(1). <https://doi.org/10.46964/jkdpia.v7i1.14>
- Zafran, M., Sani, A. A., Gunawan, I., & Negeri, P. (2023). Analisis pembebanan dinamis pada struktur frame 3D printing Core XY. *Innovative: Journal of Social Science Research*, 3(5), 3856–3872. <https://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/5327>
- Zhang, L., Yang, G., Johnson, B. N., & Jia, X. (2019). Three-dimensional (3D) printed scaffold and material selection for bone repair. *Acta Biomaterialia*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2018.11.039>
- Zidni Hudaya, A., Winarso, R., Rohman, N., & Tengah, J. (2024). Proses manufaktur lengan prosthesis berbasis penggerak kabel harness menggunakan teknologi 3D printing. *ROTASI*, 26(4), 33–46. <https://doi.org/10.14710/ROTASI.26.4.33-46>