

Pengaruh Pengaturan *Fill Density* Terhadap Sifat Mekanis *Polylactic Acid* Hasil Teknologi *Fused Deposition Modelling*

Braam Delfian Prihadianto^{1*}, Suryo Darmo², Radhian Krisnaputra³
^{1*,2,3} Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

E-mail: *braam.delfian@ugm.ac.id,

Abstract

The progress of science and technology happening today has an impact on creative industries. The production process they do no longer only relies on creativity manually but develops and expands the application of technology to simplify and speed up the production process. One example of the creative industry sector that applies technological developments is the miniature industry that utilizes Fused Deposition Modeling (FDM) technology in the process of making its products. The focus of this study is to determine the effect of increasing the value of fill density on mechanical properties, especially tensile and bending strengths. This research used an experimental method with parameter values of fill density on FDM machines from 0.1 to 1.0 and polylactic acid (PLA) filament material. The FDM machine used has a build size (X,Y,Z) of 300 mm x 300 mm x 300 mm and the implementation of testing of mechanical properties related to tensile and bending strength was carried out using a Universal Testing Machine. Based on the results of experiments and tests that have been carried out, the tensile strength values are 29.063 – 36.215 MPa and the bending strength is between 42.520 – 80.315 MPa. Therefore based on the test results it can be concluded that the fill density parameter value has an influence on the tensile and bending strength so that it can be used as a reference in setting machining parameters.

Keywords: Fused Deposition Modeling, fill density, tensile strength, bending strength

Abstrak

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang terjadi saat ini berdampak pada industri kreatif, proses produksi yang mereka lakukan tidak lagi hanya mengandalkan kreatifitas secara manual namun berkembang dan meluas dalam pengaplikasian teknologi untuk mempermudah dan mempercepat proses produksi. Salah satu contoh dari sektor industri kreatif yang menerapkan perkembangan teknologi adalah indutri miniatur yang memanfaatkan teknologi *Fused Deposition Modelling* (FDM) dalam proses pembuatan produknya. Fokus penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh bertambahnya nilai *fill density* terhadap sifat mekanik khususnya kekuatan tarik dan bending. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan nilai parameter *fill density* pada permesinan FDM dari 0,1 sd 1,0 dan material filamen *polylactic acid* (PLA). Mesin FDM yang digunakan memiliki *build size* (X,Y,Z) 300 mm x 300 mm x 300 mm dan pelaksanaan pengujian sifat mekanis terkait dengan kekuatan tarik dan bending dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine*. Hasil riset menunjukkan nilai kekuatan tarik yang sebesar 29,063 – 36,215 MPa dan kekuatan bending antara 42,520 – 80,315 MPa, hasil ini dapat membuktikan bahwa nilai parameter *fill density* memiliki pengaruh terhadap kekuatan tarik dan bending sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam pengaturan parameter permesinan.

Kata kunci: Fused Deposition Modelling, fill density, kekuatan tarik, kekuatan bending

1. Pendahuluan

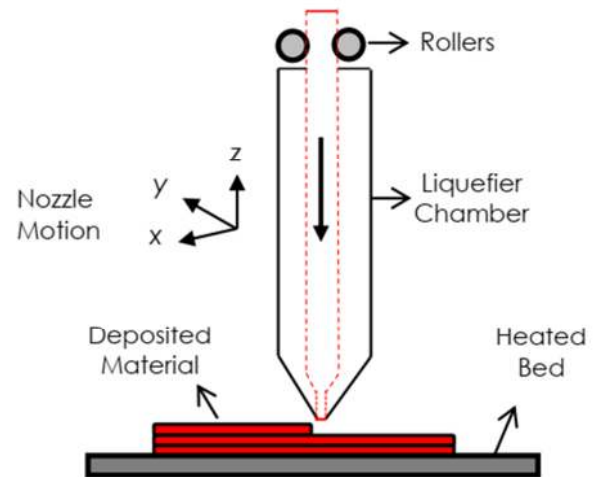
Industri kreatif merupakan suatu industri yang berbasis pada keterampilan dan kreativitas individu untuk menciptakan sesuatu melalui daya kreasi dan daya cipta. Seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, industri kerajinan kreatif berkembang dan meluas dalam penggunaan teknologi pada proses produksinya dan salah satu sektor industri kerajinan kreatif berbasis teknologi yang saat ini sedang berkembang adalah sektor pembuatan miniatur.

Teknologi yang saat ini banyak diaplikasikan pada dunia miniatur adalah teknologi *layer manufacturing*. Pembuatan miniatur dengan teknologi *layer manufacturing* memiliki kelebihan terkait efisiensi waktu dan bentuk produk yang sesuai dengan model tiga dimensi (3D) yang dibuat oleh aplikasi *Computer Aided Design*. Jenis *layer manufacturing* yang digunakan pada proses pembuatan miniatur adalah *Fused Deposition Modelling* (FDM) yang merupakan salah satu teknik *rapid prototyping* tipe *additive* [1]. Contoh produk hasil proses FDM dalam bidang miniatur dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Komponen Miniatur Hasil FDM

Prinsip kerja FDM adalah membentuk produk secara lapis per lapis dengan menggunakan material *thermoplastic* dan *biodegradableplastic* yang telah dipanaskan hingga semi *liquid* lalu di *inject* melalui *nozzle* menuju *form base* untuk membangun produk yang diinginkan sesuai dengan desain. *Nozzle* tersebut akan bergerak secara horisontal dan vertikal yang diatur oleh komputer untuk membentuk objek tiga dimensi. Secara skematis, proses FDM dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Proses FDM [2]

Kelebihan proses FDM adalah fleksibilitas dan kemampuan untuk membangun objek yang memiliki desain kompleks [3]. Selain dapat membentuk produk dengan desain kompleks, produk hasil proses FDM dapat memiliki sifat mekanis yang sesuai kebutuhan produk dengan melakukan pengaturan parameter permesinan. Parameter permesinan yang digunakan dalam proses FDM meliputi *speed nozzle*, *setting ilfill*, arah deposisi dan beberapa parameter lainnya. Sedangkan pemilihan *polylactic acid* (PLA) sebagai material yang digunakan dalam penelitian ini karena material yang termasuk dalam golongan aliphatic polyester ini secara umum terbuat dari α -hydroxy acid dan memiliki sifat terdegradasi sehingga material ini relatif lebih aman bagi kesehatan dan lingkungan.

Pengaplikasian teknologi 3D *printing* di Indonesia khususnya dalam industri kreatif miniatur sudah sangat banyak, tetapi informasi terkait pengaruh parameter permesinan terhadap kekuatan produk yang dihasilkan sangat minim. Penelitian terkait *rapid prototyping* atau FDM telah dilakukan dan diperoleh hasil bahwa pada proses *rapid prototyping* terdapat parameter yang harus dipertimbangkan untuk menentukan kualitas produk.

Parameter-parameter yang harus dipertimbangkan yaitu *flowrate*, *layer thickness*, *nozzle temperature*, *speed* dan *overlap* dimana parameter tersebut sangat menentukan dalam menentukan waktu dan

akurasi produk hasil 3D *Printer* [4]. Pemilihan orientasi produk yang optimal akan meningkatkan keakuratan permukaan, serta jika dilakukan dengan kombinasi tinggi (z) minimum maka akan menghasilkan jumlah *layer* yang sedikit dan waktu pengerjaan yang lebih cepat.

Selain itu, *layer thickness* juga sangat berpengaruh pada keakuratan permukaan produk. Semakin kecil *layer thickness* semakin akurat permukaan produk, tetapi dengan *layer thickness* yang semakin kecil maka secara otomatis akan meningkatkan waktu pengerjaan suatu produk dan begitupun sebaliknya.

Arah orientasi deposisi memiliki pengaruh terhadap kekuatan tarik yang dihasilkan dengan menggunakan material filamen ABS diperoleh hasil bahwa kekuatan tarik maksimum terjadi pada orientasi 0° terhadap sumbu Y yaitu sebesar 22,9 Mpa [5]. Penelitian dengan menggunakan material PLA diperoleh hasil bahwa variasi *print speed* berpengaruh terhadap kekuatan tarik [6]. Untuk mengetahui kekuatan dari sebuah material perlu dilakukan sebuah pengujian dan salah satunya dengan melakukan pengujian tarik terhadap material.

Pada proses pembuatan miniatur terdapat beberapa komponen yang dapat dibuat dengan menggunakan proses FDM baik yang membutuhkan akurasi dimensi dan bentuk maupun komponen yang membutuhkan kekuatan tertentu karena menerima beban sehingga diperlukan pengaturan parameter yang sesuai untuk mendapatkan produk hasil yang baik dan efisien secara waktu serta biaya. Berdasarkan latar belakang dan penelitian yang telah dilakukan bahwa terdapat beberapa parameter permesinan FDM yang mempengaruhi hasil, maka penelitian ini membahas mengenai pengaruh variasi *fill desity* terhadap kekuatan tarik dan kekuatan bending yang diperoleh dari proses FDM dengan material PLA.

Tujuan dari penelitian yaitu untuk mengetahui pengaruh bertambahnya nilai *fill density* terhadap sifat mekanik khususnya kekutan tarik dan bending. Diharapkan dengan mengetahui nilai *fill density* dan pengaruhnya terhadap sifat mekanis maka dapat dilakukan pengaturan parameter yang

sesuai dan dapat diaplikasikan pada proses pembuatan komponen miniatur

2. Metoda Penelitian

2.1 Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah mesin FDM dengan spesifikasi *frame* 480 mm x 460 mm x 440 mm hasil karya produksi lokal Yogyakarta dengan *brand* Rofi Creation yang digunakan untuk mencetak objek penelitian dengan diameter filament yang akan diproses adalah 1,75 mm. Mesin FDM tersebut terdiri dari beberapa komponen guna mendukung kinerjanya antara lain motor *steper* NEMA-17 sebagai penggerak, Arduino Mega 2360 untuk kontroler, rangka aluminium, dan komponen pendukung lainnya.

2.2 Bahan Penelitian

Bahan baku dalam penelitian ini menggunakan filament *polylactic acid* merek Rajawali berdiameter 1,75 mm berwarna coklat dengan *recommended printing temperature* pada 190-230°C. Bentuk filament dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Filamen PLA Diameter 1,75 mm

2.3 Peralatan Penelitian



Gambar 4. Mesin *Fused Deposition Modelling*

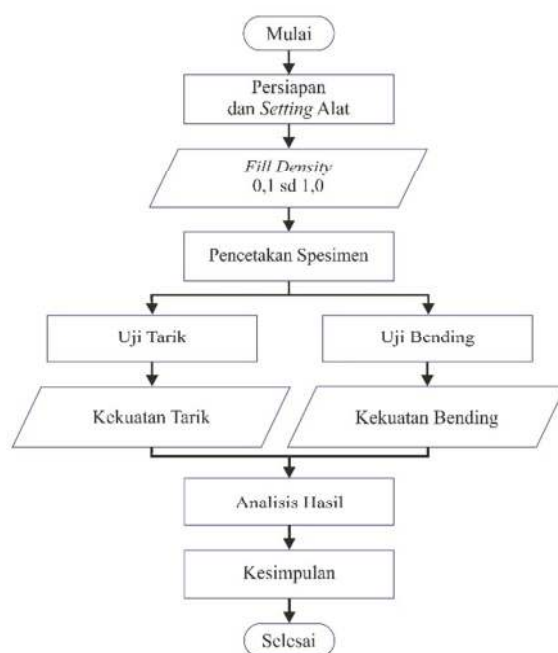
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Mesin *Fused Deposition Modeling* dengan *build size* (X,Y,Z) 300 mm x 300 mm x 300 mm
2. *Vernier caliper*
3. *Universal Testing Machine*

2.4 Alur Penelitian

Penelitian diawali dengan melakukan persiapan dan *setting* alat serta parameter permesinan dengan nilai parameter operasi tersaji pada Tabel 1. Selanjutnya dilakukan pembuatan spesimen uji tarik dan uji bending di *Workshop RRM Handycraft* dengan jumlah spesimen masing-masing parameter sebanyak tiga spesimen tiap parameter *fill density*.

Dimensi spesimen mengacu pada standar ASTM D638 untuk uji tarik dan standar ASTM D790 untuk uji bending. Tahapan berikutnya adalah melakukan pengujian sifat mekanis yang meliputi uji tarik dan uji bending menggunakan *Universal Testing Machine* di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada. Detail jelannya penelitian tersaji pada Gambar 5.



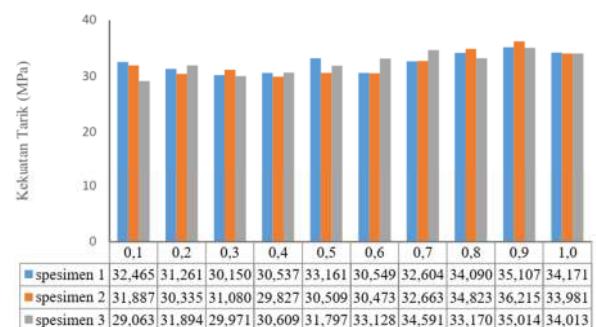
Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

Tabel 1. Parameter Operasi

<i>Fill Density</i>	0,1 – 1,0	
<i>Infill Type</i>	Grid	
<i>Speed for Infill</i>	60	mm/s
<i>Speed for Perimeter</i>	60	mm/s
<i>Layer Height</i>	0,3	mm
<i>Extruder Temperature</i>	220	°C
<i>Bed Temperature</i>	45	°C

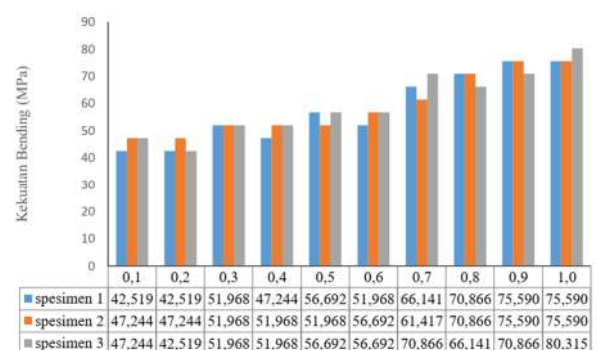
3. Hasil Penelitian

Hasil pengujian pada spesimen ditunjukkan dalam grafik hubungan antara *fill density* dengan kekuatan tarik pada Gambar 6 dan hubungan *fill density* dengan kekuatan bending pada Gambar 7.



Gambar 6. Grafik Kekuatan Tarik Hasil FDM

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai kekuatan tarik hasil FDM berada pada nilai 29,063 – 36,215 MPa dan kekuatan bending hasil FDM berada pada nilai 42,519 – 80,315 MPa. Nilai kekuatan tarik dan bending diperoleh dari hasil pengujian tiga buah spesimen setiap variasi *fill density*.

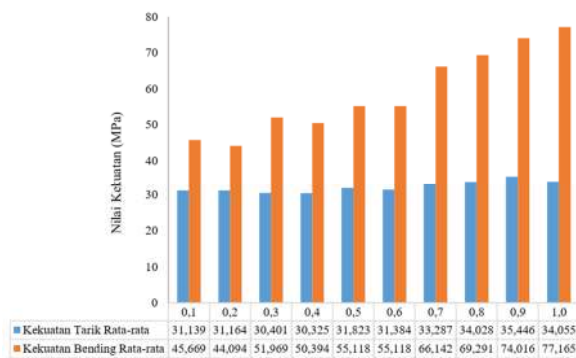


Gambar 7. Grafik Kekuatan Bending Hasil FDM

Jika melihat dari Gambar 8, diperoleh nilai kekuatan tarik rata-rata tiap variasi *fill density* spesimen hasil FDM dengan material PLA berada pada range 30,325 – 35,446 MPa dengan kekuatan tarik rata-rata sebesar 32,305 MPa. Nilai kekuatan tarik yang

dihasilkan pada penelitian dan pengujian ini sudah sesuai dimana material PLA memiliki nilai kekuatan tarik antara 21 MPa sampai dengan 60 MPa [7].

Bertambahnya nilai *fill density* akan menyebabkan naiknya kekuatan tarik yang dihasilkan meskipun perbedaan nilai yang dihasilkan tidak signifikan perbedaannya. Namun pada *fill density* 0,4 dan 1,0 sedikit mengalami perbedaan tren yang terjadi, dimana pada nilai *fill density* tersebut terjadi penurunan kekuatan tarik rata-rata.

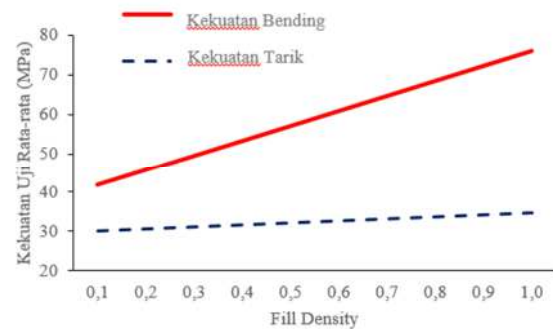


Gambar 8. Grafik Kekuatan Rata-rata Hasil FDM

Dari hasil pengujian diperoleh juga nilai kekuatan bending rata-rata yang ditampilkan pada Gambar 8. Kekuatan bending rata-rata berada pada nilai 44,094 – 77,165 MPa dengan nilai kekuatan bending rata-rata sebesar 58,898 MPa. Hasil pengujian ini memiliki hasil yang lebih tinggi jika dibandingkan penelitian yang telah dilakukan yaitu beban maksimal yang dapat diterima oleh material PLA sebesar 28,06 N pada temperatur *nozzle* 244°C dan dengan metode pembebanan hingga *displacement* 3 mm [8]. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan pembebanan hingga spesimen patah dan diperoleh nilai pembebanan maksimal sebesar 163,3 N pada *fill density* 1,0.

Jika melihat *trendline* yang diperoleh dari pengujian kekuatan tarik dan kekuatan bending seperti tersaji pada Gambar 9, terlihat bahwa nilai *fill density* memiliki pengaruh terhadap kekuatan tarik dan bending yang dihasilkan. Semakin besar nilai *fill density* yang digunakan dalam proses FDM menghasilkan kekuatan tarik dan bending yang semakin tinggi, hanya saja nilai peningkatan kekuatan bending lebih

besar jika dibandingkan dengan peningkatan kekuatan tarik. Nilai *fill density* yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan nilai *inputan* yang tersedia dalam *software* yaitu 0,1 sampai dengan 1,0.



Gambar 9. Grafik *Trendline* Kekuatan Tarik dan Bending Hasil FDM

Bertambahnya nilai *fill density* yang dimasukkan dalam pengaturan alat FDM membuat jumlah material PLA yang diekstrusikan semakin banyak karena parameter ini menggambarkan persentase kepadatan isi produk hasil pencetakan terhadap sifat mekanik [9]. Semakin banyak jumlah filament atau material PLA yang diekstrusikan menyebabkan peningkatan nilai densitas produk yang dihasilkan karena berkurangnya rongga dalam produk hasil 3D *print* [10].

Dalam pengaplikasiannya, pengaturan *fill density* dapat disesuaikan dengan kebutuhan produknya. Jika produk yang dihasilkan hanya membutuhkan kesesuaian bentuk tanpa ada persyaratan kekuatan mekanis maka dapat menggunakan pengaturan *fill density* dengan nilai kecil. Sedangkan untuk produk yang memerlukan sifat mekanis dengan nilai tinggi atau kekuatan tertentu, pengaturan *fill density* harus mempertimbangkan perhitungan kekuatan mekanisnya [11], [12]. Diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam penentuan parameter operasi dan hubungannya dengan kekuatan suatu produk yang dihasilkan melalui proses FDM.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian pada proses FDM dengan material PLA diperoleh nilai kekuatan tarik berada pada nilai 29,063 – 36,215 MPa dan nilai kekuatan bending yang

dihasilkan berada pada angka 42,519 – 80,315 MPa. Bertambahnya nilai *fill density* menghasilkan sifat mekanis yang lebih baik, hal ini terlihat dari nilai kekuatan tarik dan bending yang semakin tinggi. Sehingga dalam pengaturan parameter *fill density* pada proses FDM dapat disesuaikan dengan kekuatan produk yang direncanakan.

5. Saran

Diperlukan adanya penelitian lebih lanjut terkait pengaruh parameter lain terhadap produk hasil teknologi *Fused Deposition Modeling*.

6. Daftar Pustaka

- [1] D. Yagnik, "Fused deposition modeling--a rapid prototyping technique for product cycle time reduction cost effectively in aerospace applications," *IOSR J. Mech. Civ. Eng.*, vol. 5, pp. 62–68, 2014, [Online]. Available: www.iosrjournals.org.
- [2] N. A. Sukindar, M. K. A. Ariffin, B. T. Hang Tuah Baharudin, C. N. A. Jaafar, and M. I. S. Ismail, "Analyzing the effect of nozzle diameter in fused deposition modeling for extruding polylactic acid using open source 3D printing," *J. Teknol.*, vol. 78, no. 10, pp. 7–15, 2016, doi: 10.11113/jt.v78.6265.
- [3] O. A. Mohamed, S. H. Masood, and J. L. Bhowmik, "Optimization of fused deposition modeling process parameters for dimensional accuracy using I-optimality criterion," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 81, pp. 174–196, 2016, doi: 10.1016/j.measurement.2015.12.011.
- [4] Pristiansyah, Hardiansyah, and Sugiyarto, "Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex," *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 11, no. 01, pp. 0–7, 2019.
- [5] F. Górski, R. Wichniarek, W. Kuczko, P. Zawadzki, and P. Buń, "Strength of Abs Parts Produced By Fused Deposition Modelling Technology – a Critical Orientation Problem," *Adv. Sci. Technol. Res. J.*, vol. 9, no. 26, pp. 12–19, 2015, doi: 10.12913/22998624/2359.
- [6] A. Setiawan, "Pengaruh Parameter Proses Ekstrusi 3D Printer Terhadap Sifat Mekanis Cetak Komponen Berbahan Filament PLA (Poly Lactide Acid)," *J. Tek. STTKD. ISSN 2460-1608*, vol. 4, no. 2, pp. 20–27, 2017.
- [7] K. Van De Velde and P. Kiekens, "Biopolymers: Overview of several properties and consequences on their applications," *Polym. Test.*, vol. 21, no. 4, pp. 433–442, 2002, doi: 10.1016/S0142-9418(01)00107-6.
- [8] L. N. Ikhsanto and Zainuddin, "Analisa Kekuatan Bending Filamen Abs Dan Pla Pada Hasil 3d Printer Dengan Variasi Suhu Nozzle," *J. Imiah Tek. Mesin*, vol. 21, no. 1, pp. 9–17, 2020.
- [9] T. F. Abbas, F. M. Othman, and H. B. Ali, "Investigation and Analysis of Infill Density on Impact Property of Pla in 3D Printing," *Int. J. Res. Sci. Manag.*, vol. 5, no. 2, pp. 115–120, 2018, doi: 10.5281/zenodo.1185587.
- [10] J. Triyono, H. Sukanto, R. M. Saputra, and D. F. Smaradhana, "The effect of nozzle hole diameter of 3D printing on porosity and tensile strength parts using polylactic acid material," *Open Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 762–768, Jan. 2020, doi: 10.1515/eng-2020-0083.
- [11] T. Abbas, F. M. Othman, and H. B. Ali, "Effect of infill Parameter on compression property in FDM Process," *Int. J. Eng. Res. and Application www.ijera.com*, vol. 7, no. May 2018, pp. 16–19, 2017, doi: 10.9790/9622-0710021619.
- [12] R. Gunawan, "Pengaruh Densitas Isi terhadap Ketelitian Dimensi pada Produk Mesin 3D Printing," *Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 15–19, 2020, doi: 10.25105/ms.v11i1.7438.