

PELATIHAN 3D PRINTER DALAM MENINGKATKAN KEMAMPUAN PEMBUATAN MEDIA PEMBELAJARAN SISWA SMK BIDANG KEAHLIAN TEKNOLOGI DAN REKAYASA DI PALEMBANG

M. A. ADE SAPUTRA*, QOMARUL HADI, JIMMY D. NASUTION, ANEKA FIRDAUS,
ZULKARNAIN, BARLIN, HENDRI CHANDRA, AMIR ARIFIN,
RISKY UTAMA PUTRA

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia

**Corresponding author: m.a.adesaputra@ft.unsri.ac.id*

(Received: 19 September 2025; Accepted: 1 November 2025; Published on-line: 1 Desember 2025)

ABSTRAK: Program pelatihan pengenalan pengoperasian mesin cetak 3D yang diadakan sebagai bagian dari kegiatan pengabdian kepada masyarakat bertujuan untuk membekali para guru di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) dan para pelaku usaha mikro, kecil, dan menengah dalam sektor industri kreatif, terutama para siswa, dengan kompetensi yang diperlukan dalam bidang desain dan pengoperasian mesin cetak 3D tipe *fused deposition modelling* (FDM). Tantangan utama yang dihadapi peserta pelatihan adalah kurangnya pengetahuan dasar, keterampilan aplikasi, dan ketiadaan fasilitas mesin cetak 3D, yang menjadi fokus utama program pelatihan ini. Pelatihan tersebut diselenggarakan dengan metode penyampaian materi yang mencakup pengenalan dasar dan cara penggunaannya berdasarkan teknologi manufaktur aditif. Proses demonstrasi mencakup pencetakan objek, dimulai dari pemodelan objek 3D menggunakan perangkat lunak *computer aided design* (CAD), penggunaan *slicer*, hingga pengaturan filamen. Setelah pelatihan, keterampilan mencetak model objek diperoleh melalui program pendampingan jarak jauh. Hasil evaluasi yang diperoleh dari wawancara selama pelaksanaan menunjukkan bahwa 70% peserta SMK tertarik dan berencana untuk menerapkan teknologi mesin cetak 3D, sementara 100% peserta dari kelompok siswa mendukung kelanjutan program sosialisasi penggunaan 3D printer. Kegiatan ini memberikan nilai tambah bagi guru-guru SMK dan pelaku usaha siswa melalui peningkatan keterampilan dan pemahaman tentang teknologi baru mesin cetak 3D, mempersiapkan mereka untuk menghadapi tantangan dan peluang di era revolusi industri 4.0 di pasar global.

KEYWORDS: *manufaktur aditif, 3D Printer, Fused Deposition Modelling, Media Pembelajaran SMK*

1. PENDAHULUAN

Dalam era revolusi industri 4.0, bidang teknologi memainkan peran penting dalam kemajuan sektor industri di Indonesia. Industri mengalami perkembangan pesat, terutama dalam bidang manufaktur dan desain produk yang menjadi sangat penting mengingat ketatnya persaingan di pasar global, di mana produsen berlomba-lomba berinovasi untuk merebut pangsa pasar [1]. Salah satu inisiatif yang diluncurkan oleh Kementerian Perindustrian untuk menghadapi tantangan revolusi industri 4.0 adalah program Making Indonesia 4.0, yang bertujuan untuk mempertahankan stabilitas industri dalam pengembangan produk di pasaran [2]. Penguasaan teknologi menjadi faktor kunci dalam meningkatkan daya saing untuk mencapai tujuan tersebut [3]. Ada lima teknologi utama dari sembilan pilar industri 4.0 yang mendukung sistem pembangunan dalam program Making Indonesia 4.0, yaitu *internet of things* (IoT), *artificial intelligence* (AI), antarmuka manusia-mesin, teknologi robotika dan

sensor, serta teknologi cetak 3D berbasis manufaktur aditif. Gambar 1 menggambarkan sembilan pilar industri 4.0.



Gambar 1. Teknologi pada 9 pilar industri 4.0.

Pemerintah Indonesia, melalui pernyataan Menteri Perindustrian, Airlangga Hartanto, menyatakan bahwa dampak dari industri 4.0 memiliki potensi untuk meningkatkan nilai tambah Produk Domestik Bruto (PDB) nasional sebesar USD 150 miliar pada tahun 2025. Selain itu, revolusi industri ini menciptakan sekitar 17 juta peluang kerja di sektor teknologi digital. Adapun detailnya yaitu 4,5 juta adalah tenaga kerja yang berfokus pada industri manufaktur, sedangkan 12,5 juta terkait dengan jasa di sektor manufaktur. Menghadapi situasi ini, industri di Indonesia tidak ingin kalah dalam persaingan, baik dari segi kecepatan maupun kualitas produk. Salah satu konsekuensi dari perubahan ini adalah perlunya adaptasi dalam sistem pendidikan dan pelatihan sumber daya manusia di perguruan tinggi serta sekolah menengah kejuruan (SMK) yang berorientasi pada rekayasa.

Salah satu perkembangan yang terjadi adalah penerapan teknologi manufaktur aditif menggunakan mesin cetak 3D di industri. Mesin cetak 3D merupakan alat fabrikasi berbasis komputer yang digunakan untuk memproduksi prototipe dari desain objek 3D atau juga disebut *rapid prototype* [4]–[7]. Salah satu jenis mesin cetak 3D adalah tipe *fused deposition modelling* (FDM). Teknologi FDM mencetak objek dengan cara menambahkan lapisan demi lapisan dari bawah ke atas menggunakan filamen termoplastik yang dipanaskan dan diekstrusi [8]. Material yang umum digunakan dalam FDM adalah plastik filamen ABS (acrylonitrile butadiene styrene) dan PLA (polylactic acid) [9]–[12]. ABS adalah jenis plastik polimer yang terdiri dari tiga komponen: acrylonitrile, butadiene, dan styrene. Sementara itu, PLA termasuk dalam kategori aliphatic polyester yang biasanya dihasilkan dari α -hydroxy acid dan memiliki sifat *biodegradable* [13], [14]. Teknologi FDM menawarkan banyak keuntungan, seperti kemudahan penggunaan, ramah lingkungan, serta stabilitas mekanik dan lingkungan. Selain itu, teknologi ini juga efektif dalam membuat model geometris yang kompleks, dan telah diterapkan dalam pembuatan prototipe perancah tulang untuk keperluan rekayasa jaringan medis [15]. Dengan penguasaan teknologi pengoperasian mesin cetak 3D yang diajarkan dalam pelatihan ini, diharapkan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) dapat melahirkan lulusan yang kompeten dalam bidang teknologi manufaktur aditif sesuai dengan kebutuhan industri. Ini juga dapat memberikan peluang bagi pelaku usaha kecil dan menengah untuk menggunakan teknologi mesin cetak 3D dalam memperluas kesempatan kerja.

Meskipun berbagai studi telah membahas penerapan teknologi cetak 3D dalam konteks

industri dan pendidikan tinggi, kajian yang secara spesifik mengevaluasi efektivitas pelatihan mesin cetak 3D sebagai media pembelajaran di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK), khususnya dalam konteks pendidikan vokasi dan kesiapan menghadapi industri 4.0, masih terbatas. Oleh karena itu, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut melalui implementasi pelatihan mesin cetak 3D tipe fused deposition modelling (FDM) serta evaluasi terhadap respons, pemahaman, dan kesiapan guru dan siswa SMK dalam mengadopsi teknologi manufaktur aditif.

2. METODELOGI PELAKSANAAN

Kegiatan pengabdian ini diawali dengan pembentukan tim pelaksana yang terdiri dari dosen dan mahasiswa Jurusan Teknik Mesin dan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya dengan latar belakang jenis kepakaran berbeda meliputi bidang keahlian desain dan perancangan elemen mesin serta manufaktur. Setelah tim pelaksana terbentuk dilakukan diskusi untuk menentukan dan merumuskan tujuan kegiatan, yakni bagaimana peran perguruan tinggi dalam menghadapi era industri 4.0 dalam menuju *Making Indonesia 4.0* yang merupakan strategi Indonesia untuk memasuki era digital yang mengubah dinamika persaingan global, dengan penguasaan teknologi menjadi kunci utama untuk meningkatkan daya saing.

Salah satunya melalui teknologi manufaktur aditif yang menggunakan mesin cetak 3D. Langkah berikutnya melibatkan identifikasi pemangku kepentingan terkait, yaitu Dinas Pendidikan Provinsi, khususnya SMK, serta kelompok siswa di sektor industri kreatif. Tahap selanjutnya adalah mengumpulkan dan menganalisis kebutuhan dari mitra, yang mencakup pengumpulan informasi dari para guru dan pelaku siswa, serta melakukan wawancara dengan beberapa guru dan survei kebutuhan. Untuk kelompok siswa, juga dilakukan survei menggunakan kuesioner mengenai sosialisasi pelatihan dan program pengabdian. Berdasarkan data yang diperoleh, kegiatan pengabdian ini relevan dengan kebutuhan yang ada di lapangan. Hasil survei sebelum pelaksanaan menunjukkan bahwa guru dan pelaku siswa masih menghadapi kesulitan dalam menerapkan teknologi mesin cetak 3D dan merasa kurang siap untuk menghadapi tantangan era industri 4.0.

Setelah masalah diidentifikasi dengan jelas, prioritas kebutuhan ditentukan berdasarkan tingkat urgensi, cakupan, dan dampaknya. Topik yang dipilih adalah sosialisasi dan pelatihan penggunaan mesin cetak 3D tipe FDM bagi guru SMK dan siswa di sektor industri kreatif, yang merupakan faktor kunci dalam menyelesaikan kendala yang telah diidentifikasi. Persiapan untuk implementasi kegiatan dilakukan dengan bekerja sama dan berkoordinasi dengan pihak SMK YPK Gajah Mada Palembang, mengenai teknik pelaksanaan agar kegiatan dapat berjalan dengan lancar. Sosialisasi pelatihan juga dilaksanakan secara daring melalui platform Zoom untuk siswa yang terlibat.

Implementasi kegiatan mencakup penyampaian materi pelatihan dan demonstrasi mengenai mesin cetak 3D kepada guru dan siswa di SMK serta kelompok siswa. Materi yang akan disampaikan dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat telah disiapkan seperti terlihat pada Gambar 2. Setelah pelatihan selesai, peserta diberikan pendampingan untuk menyelesaikan tugas yang relevan dengan materi pelatihan mesin cetak 3D. Proses evaluasi dilakukan melalui wawancara untuk mengukur penilaian peserta, tantangan yang dihadapi, dan harapan mereka mengenai kegiatan yang telah dilaksanakan. Metode ini digunakan untuk menilai sejauh mana peserta dapat menyerap materi yang disampaikan. Hasil dari evaluasi dan ulasan akan menentukan kebutuhan serta sasaran baru yang perlu ditangani, sehingga tindak lanjut untuk kegiatan berikutnya dapat direncanakan dengan baik.



Gambar 2. Alur kerja kegiatan pengabdian kepada masyarakat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat untuk para siswa SMK di bidang teknik yang berlangsung di wilayah Sumatera Selatan dilaksanakan oleh dosen dan mahasiswa dari Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada hari Rabu, 26 Oktober 2024, di SMK YPK Gajah Mada Palembang.



Gambar 3. Pembukaan dan sambutan kegiatan pengabdian kepada masyarakat (PKM) di SMK YPK Gajah Mada Palembang.

Seperti yang terlihat pada Gambar 3. Pelatihan dasar dan demonstrasi tentang mesin cetak 3D di SMK YPK Gajah Mada Palembang dimulai dengan sambutan pembukaan, kemudian sosialisasi mengenai penggunaan mesin cetak 3D untuk mendukung kinerja siswa di sektor industri kreatif juga diadakan pada tanggal yang sama 26 Oktober 2024, dari pukul 10.00 hingga 12.00 serta melalui pelatihan daring menggunakan platform Zoom.

Setelah kegiatan pembukaan dan sambutan, dimana acara pembukaan oleh moderator, bapak Dwi Rustanto, yang kemudian dilanjutkan dengan sambutan dari Kepala Sekolah SMK YP Gajah Mada Palembang, bapak Darius, pada pukul 10.00. Setelah pembukaan dan

sambutan, acara berlanjut dengan pembahasan materi yang disampaikan oleh Amir Arifin mengenai “Mesin Cetak 3D (3D Printer): Sarana Peningkatan Inovasi Pembelajaran serta Potensi Ekonomi Kreatif dalam Menghadapi Industri 4.0.” Sesi materi ini berlangsung dari pukul 10.15 hingga 10.45. Acara selanjutnya yaitu pemberian materi dan penjelasan yang disampaikan oleh Akbar Teguh Prakoso, seperti terlihat pada Gambar 4 yang sedang menjelaskan materi kepada para peserta.



Gambar 4. Penjelasan materi PKM oleh Akbar Teguh Prakoso

Jumlah peserta yang hadir dalam kegiatan sosialisasi ini mencapai sekitar 26 orang, setelah diberikan materi dan penjelasan oleh Akbar Teguh Prakoso kemudian agenda selanjutnya dilanjutkan praktik cetak 3D *printer* dimulai dari pukul 10.45 sampai dengan pukul 11.45, dimana peserta melakukan praktik langsung yang dipandu langsung oleh para ahli serta para mahasiswa, seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Proses praktik pencetakan objek menggunakan mesin cetak 3D tipe FDM oleh peserta pelatihan.

Pada tahapan praktik, peserta melakukan kegiatan yang terdiri dari beberapa tahap yaitu 1) Proses pembuatan model 3D dengan bantuan perangkat lunak 3D, 2) Proses slicing dengan perangkat lunak Ultimaker Cura, 3) Menghasilkan G- code yang akan ditransfer ke mesin 3D, 4) Persiapan mesin 3D dan filamen, dan tahapan akhir 5) Proses pencetakan dengan 3D Printer.

Para peserta optimis karena media pembelajaran ini diyakini lebih aplikatif dan apabila diterapkan dalam proses belajar mengajar di kelas, maka suasana pembelajaran akan lebih hidup dan lebih menarik perhatian siswa sehingga mesin cetak 3D nantinya merupakan mata pelajaran yang lebih diminati anak didik.

Sebagian kecil peserta merasa ragu untuk menerapkannya di kelas dengan alasan sarana dan prasarana sekolah yang kurang memadai, misalnya mesin cetak 3D itu sendiri. Foto kegiatan pelaksanaan pengabdian kepada masyarakat di SMK Negeri 2 Palembang.



Gambar 6. Hasil desain dan cetak oleh peserta pelatihan menggunakan mesin cetak 3D.

Adapun hasil dari proses praktik kegiatan ini dapat dilihat pada Gambar 6. Selanjutnya kegiatan dilanjutkan dengan diskusi dan evaluasi kegiatan yang dilakukan oleh saudara Irfan Ghani Fadhlurrahman selaku ketua, Akbar Teguh Prakoso dan Tri Satya Ramadhoni terhadap hasil praktik yang dilakukan peserta.

Respons dan tanggapan telah dilakukan dengan menggunakan diskusi terhadap peserta yang mengikuti sosialisasi. Indikator pencapaian tujuan dan tolak ukur yang digunakan untuk menyatakan keberhasilan dari kegiatan ini adalah dari banyaknya tanya jawab maupun masukan dari para peserta serta pengisian kuesioner yang telah diisi oleh peserta siswa. Untuk pengisian kuesioner didata dengan persentase dengan 3 pertanyaan yang mendasari penelitian yaitu a) 80% untuk peserta yang cukup mudah memahami cara penyaji menyampaikan materi sosialisasi dan 20% untuk peserta yang sangat mudah memahami tentang cara penyajian materi sosialisasi yang disampaikan, b) 60% untuk peserta yang cukup mudah memahami terhadap isi dari materi sosialisasi dan 40% untuk peserta yang sangat mudah memahami tentang isi dari materi sosialisasi dan pelatihan, c) 100% peserta setuju untuk tetap melanjutkan kesuksesan sosialisasi penggunaan mesin cetak 3D dan peserta juga memberikan kritik dan saran yang sangat mendukung terhadap kegiatan sosialisasi. Para peserta dapat mengikuti kegiatan ini dengan kriteria baik dan respons yang sangat positif.

Demikian pula para siswa yang mengikuti kegiatan ini mendapat pengetahuan dalam sosialisasi teknologi mesin cetak 3D. Evaluasi yang ditelusuri melalui wawancara dengan para peserta menunjukkan bahwa mesin cetak 3D relatif mudah dioperasikan karena prosedurnya hampir sama dengan pengoperasian mesin CNC. Model dibuat dengan perangkat lunak CAD, kemudian dihasilkan G-code dan terakhir proses fabrikasi. Dari hasil evaluasi juga menunjukkan bahwa 20 peserta SMK (70%) berpendapat dan berencana akan menerapkan media-media pembelajaran yang telah dibuat di kelas masing-masing. Tingginya persentase peserta yang berminat menerapkan teknologi cetak 3D menunjukkan bahwa pelatihan ini memiliki tingkat penerimaan yang baik. Namun, keraguan sebagian peserta terkait keterbatasan

sarana menunjukkan bahwa faktor infrastruktur masih menjadi tantangan utama dalam adopsi teknologi di SMK, sebagaimana juga dilaporkan dalam studi pendidikan vokasi sebelumnya.

Setelah beberapa rangkaian acara di atas terlaksanakan, maka akan memasuki sesi akhir dari sosialisasi ini yaitu pemberian sertifikat secara simbolis yang dikoordinator oleh moderator yaitu bapak Dwi Rustanto dan diakhiri dengan sesi foto bersama. Pada Gambar 7 menunjukkan sesi penyerahan sertifikat secara simbolis dan foto bersama sebagai berakhirnya sesi kegiatan PKM.



Gambar 7. Foto bersama kegiatan PKM di SMK YPK Gajah Mada Palembang

Adapun realisasi pemecahan masalah yang telah dilaksanakan adalah presentasi teori dan cara pembuatan mesin cetak 3D dengan mempertimbangkan rancangan konstruksi secara optimal. Diharapkan para guru dan siswa mampu menyerap teknologi mesin cetak 3D yang telah disampaikan dan mampu untuk mengembangkannya, kemudian untuk para siswa dapat menjadikan mesin cetak 3D sebagai salah satu sarana untuk pengembangan usaha dalam mengikuti kemajuan teknologi industri 4.0.

4. KESIMPULAN

Mesin cetak 3D merupakan teknologi baru di dunia industri saat ini sehingga harus dilakukan sosialisasi di sekolah-sekolah dan SISWA sektor industri kreatif agar guru, siswa dan masyarakat tidak ketinggalan dalam hal teknologi sehingga diharapkan dapat lebih mudah dan siap dalam menghadapi tantangan yang akan datang dimasa depan. Berdasarkan hasil dan diskusi pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang telah diuraikan dalam kegiatan ini, kesimpulan berikut dapat ditarik sebagai berikut:

1. Peserta mendapatkan pengetahuan dan wawasan mengenai perangkat lunak untuk desain 3D. Peserta juga mendapatkan keterampilan membuat desain 3D menggunakan perangkat lunak CAD dan *slicer* Ultimaker Cura 4.1.0. Serta keterampilan yang diperoleh oleh peserta, yaitu keterampilan dalam mencetak desain yang dibuat menjadi objek nyata menggunakan mesin cetak 3D tipe FDM (*fused deposited modelling*).
2. Peserta dapat memahami dan menguasai materi selama kegiatan pelatihan berlangsung ditunjukkan dengan desain dan fabrikasi gantungan kunci dengan mesin cetak 3D, 70% dari 20 peserta guru SMK akan menerapkan teknologi mesin cetak 3D di SMK masing-masing.

3. Kegiatan *webinar* untuk sosialisasi pelatihan mesin cetak 3D dilakukan dengan baik dan mendapatkan respons yang positif dari seluruh peserta dan 100% peserta SISWA setuju untuk tetap dilanjutkan sosialisasi penggunaan mesin cetak 3D
4. Kegiatan ini menunjukkan bahwa pelatihan mesin cetak 3D dapat menjadi pendekatan efektif dalam meningkatkan kompetensi teknologi siswa SMK. Ke depan, program serupa perlu didukung dengan penyediaan fasilitas dan integrasi ke dalam kurikulum pembelajaran vokasi agar adopsi teknologi manufaktur aditif dapat berjalan secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Bujor and S. Avasilcai, "The Creative Entrepreneur : a Framework of Analysis," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 221, pp. 21–28, 2016, doi: 10.1016/j.sbspro.2016.05.086.
- [2] Kemenperin, "Making Indonesia 4.0," *Kementerian. Perindustrian Republik Indones.*, vol. 30, no. 8, 2018.
- [3] A. Sahin and Y. Danyal, "Increased Importance of Entrepreneurship from Entrepreneurship to Techno-Entrepreneurship (Startup): Provided Supports and Conveniences to Techno-Entrepreneurs in Turkey," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 195, pp. 1146–1155, 2015, doi: 10.1016/j.sbspro.2015.06.164.
- [4] A. A. Nurul Amri and W. Sumbodo, "Perancangan 3D Printer Tipe Core XY Berbasis Fused Deposition Modeling (FDM) Menggunakan Software Autodesk Inventor 2015," *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, 2018, doi: 10.21831/dinamika.v3i2.21407.
- [5] K. Upadhyay, R. Dwivedi, and A. K. Singh, "Determination and comparison of the anisotropic strengths of fused deposition modeling P400 ABS," in *Advances in 3D Printing and Additive Manufacturing Technologies*, 2016. doi: 10.1007/978-981-10-0812-2_2.
- [6] R. Patel, C. Desai, S. Kushwah, and M. H. Mangrola, "A review article on FDM process parameters in 3D printing for composite materials," *Mater. Today Proc.*, vol. 60, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.02.385.
- [7] L. Schneider and H. Gärtner, "Additive manufacturing for lab applications in environmental sciences: Pushing the boundaries of rapid prototyping," *Dendrochronologia*, vol. 76, 2022, doi: 10.1016/j.dendro.2022.126015.
- [8] V. G. Surange and P. V Gharat, "3D Printing Process Using Fused Deposition Modelling (FDM)," pp. 1403–1406, 2016.
- [9] A. Rodriguez-Panes, J. Claver, and A. M. Camacho, "The influence of manufacturing parameters on the mechanical behaviour of PLA and ABS pieces manufactured by FDM: A comparative analysis," *Materials (Basel)*, vol. 11, no. 8, 2018, doi: 10.3390/ma11081333.
- [10] S. L. Rodríguez-Reyna, C. Mata, J. H. Díaz-Aguilera, H. R. Acevedo-Parra, and F. Tapia, "Mechanical properties optimization for PLA, ABS and Nylon + CF manufactured by 3D FDM printing," *Mater. Today Commun.*, vol. 33, 2022, doi: 10.1016/j.mtcomm.2022.104774.
- [11] M. S. Andrés et al., "Use of 3D printing PLA and ABS materials for fine art. Analysis of composition and long-term behaviour of raw filament and printed parts," *J. Cult. Herit.*, vol. 59, 2023, doi: 10.1016/j.culher.2022.12.005.
- [12] R. Mendenhall and B. Eslami, "Experimental Investigation on Effect of Temperature on FDM 3D Printing Polymers: ABS, PETG, and PLA," *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 20, 2023, doi: 10.3390/app132011503.
- [13] A. Setiawan, "PENGARUH PARAMETER PROSES EKTRUSI 3D PRINTER TERHADAP SIFAT MEKANIS CETAK KOMPONEN BERBAHAN FILAMENT PLA (Poly Lactide Acid)," vol. 4, no. 2, pp. 20–27, 2017.
- [14] J. Krieghoff et al., "Composition-controlled degradation behavior of macroporous scaffolds from three-armed biodegradable macromers," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 195, 2022, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2021.109775.
- [15] Z. Abidin et al., "Optimization of FDM 3D Printing Process Parameter for Improving Porosity Accuracy of PLA Scaffold," *Proc. 4th Forum Res. Sci. Technol.*, vol. 7, no. March, 2021, doi: 10.2991/ahe.k.210205.028.