

Perancangan Material Tanah Liat Lokal Untuk Mesin 3D Printer Liquid Deposition Modeling

Ibnu Abdul Rosid^{1*}, Grita Supriyanto Dewi², Paulus Wisnu Anggoro², Putri Noviana Nih Pratama¹, Bayu Prakoso¹, Alfrina Damayanti¹

¹Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Teknologi Informasi, Universitas Jenderal Achmad Yani Yogyakarta, Jl. Siliwangi, Banyuraden, Gamping, Sleman

² Teknik Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman

*E-mail: ibnu.arrasheed@gmail.com

Diajukan: 30-09-2024; Diterima: 19-12-2024; Diterbitkan: 21-12-2024

Abstrak

Tanah liat atau *clay* merupakan material yang digunakan sebagai material pembentuk benda keramik. Produk keramik merupakan salah satu produk yang menjadi komoditas bagi masyarakat di Indonesia. Nilai ekspor produk keramik Indonesia mencapai 24.258.693 USD yang berkontribusi terhadap PDB Indonesia. Salah satu skala usaha produk keramik adalah Usaha Mikro, Kecil dan Menengah (UMKM) yang berkontribusi besar terhadap pendapatan domestik bruto, serta berdampak pada pengurangan pengangguran di Indonesia. UMKM Keramik secara umum masih menggunakan metode tradisional dalam proses produksinya. Disisi lain perkembangan teknologi manufaktur menghasilkan berbagai teknologi yang dapat menghasilkan produk yang inovatif, salah satunya adalah Teknologi 3D Printer. Namun material *clay* yang dapat digunakan untuk Mesin 3D Printer yang tersedia saat ini merupakan material pabrikan yang memiliki harga yang relatif tinggi, sehingga diperlukan inovasi untuk menangani permasalahan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan metode dan komposisi tanah liat lokal yang mampu bentuk yang dapat digunakan pada Mesin 3D Printer LDM dengan menggunakan sistem *screw extruder*. Metode yang digunakan menggunakan metode eksperimen dengan komposisi material yang tersusun atas tanah liat dan air. Adapun material tersebut perlu dilakukan proses filterisasi ukuran menggunakan Mesh 100. Adapun hasil pengujian didapatkan komposisi material tanah liat yang mampu bentuk yaitu tanah liat sebesar 400 gr dan air sebesar 200 ml hingga 250 ml.

Kata kunci: 3d printer; keramik; mampu bentuk, material lokal; tanah liat

Abstract

Clay or clay is a material used to form ceramic objects. Ceramic products are one of the commodities people in Indonesia use. The export value of Indonesian ceramic products reached 24,258,693 USD, which contributed to Indonesia's GDP. One of the business scales of ceramic products is Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs), which contribute greatly to gross domestic income and have an impact on reducing unemployment in Indonesia. Ceramic MSMEs, in general, still use traditional methods in the production process. On the other hand, the development of manufacturing technology has produced various technologies that can deliver innovative products, one of which is 3D Printer Technology. However, clay materials that can be used for 3D printer machines are currently available in manufactured materials that have relatively high prices, so innovation is needed to deal with these problems. This study aims to obtain a method and composition of local clay capable of forming that can be used on a 3D Printer LDM Machine using a screw extruder system. The method used is an experimental method with a material composition of clay and water. The material needs to be done through a size-filtering process using Mesh 100. The test results obtained the composition of clay material capable of forming the clay of 400 gr and water of 200 ml to 250 ml.

Keywords: 3d printer; buildability; ceramic; clay; local material

1. Pendahuluan

Tanah liat atau *clay* merupakan material yang umum digunakan dalam pembuatan produk kerajinan keramik di Indonesia serta menjadi komoditas di Indonesia [1,2,3,4]. Besar ekspor produk keramik Indonesia mencapai 24.258.693 USD, namun nilai impor lebih tinggi, yaitu mencapai 75.988.056 USD [5], sehingga nilai ekspor perlu ditingkatkan. Indonesia memiliki berbagai wilayah yang menjadi sentra produk keramik [3,6,7]. Salah satu skala usaha produk keramik adalah Usaha Mikro, Kecil dan Menengah (UMKM) [7,8] yang berkontribusi besar terhadap pendapatan domestik bruto,

serta berdampak pada pengurangan pengangguran di Indonesia [9]. Salah satu permasalahan pada UMKM adalah tidak dilakukannya penggunaan teknologi dan inovasi [10], sedangkan Pemerintah Indonesia mendorong UMKM untuk dapat menerapkan teknologi dan inovasi untuk menghadapi Revolusi Industri 4.0 [11], yang mendukung ekonomi kreatif [12]. Produk estetik merupakan salah satu bentuk inovasi untuk menarik konsumen [13], selain itu aspek visual, dan ergonomi menjadi hal yang penting untuk diperhatikan. Hal tersebut memerlukan kemampuan manufaktur produk yang kompleks [14], yang memerlukan pengerjaan bentuk tidak hanya membulat, silinder, lingkaran ataupun bentuk sederhana lainnya [6].

Penggunaan desain (CAD) [15], serta manufaktur berbantuan komputer (CAM) menjadi pendukung dalam menghasilkan produk keramik dengan pola yang kompleks dan rumit [12,13,16]. Salah satu jenis teknologi manufaktur yang sesuai dengan kategori tersebut yaitu Teknologi 3D Printing (3DP) [17] yang berkembang pada Era Revolusi Industri 4.0 [18,19] di Indonesia [20]. Teknologi 3DP telah digunakan diberbagai bidang, seperti konstruksi [18,21,22,23,24,25,26], kesehatan [27,28], dan industri manufaktur [19,29]. Salah satu aspek utama dalam pengembangan Teknologi 3DP adalah aspek material [30]. Clay saat ini menjadi salah satu material yang dikembangkan untuk Mesin 3DP [31,32], yang dapat digunakan pada Teknologi 3DP berjenis *Liquid Deposition Modeling* (LDM) [33,34,35]. Teknologi tersebut dapat digunakan untuk mencetak produk dengan menggunakan material yang memiliki viskositas relatif rendah ataupun berbentuk pasta [34], dengan kemampuan material mampu tekan (*pumpability*), mampu keluar (*extrudability*) [23] dan mampu bentuk (*buildability*) [18,21,22,26,28]. Selain itu tidak semua material clay dapat digunakan sebagai bahan baku pembentuk keramik yang baik [3], sehingga diperlukan karakterisasi material. Pada aspek biaya material, clay impor LDM memiliki harga mencapai \$ 5,9/kg atau berkisar Rp. 564.811,11/kg [36]. Hal tersebut menyebabkan biaya produksi menjadi tinggi. Salah satu daerah yang memiliki sentra pengrajin keramik estetik berbahan clay adalah Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) [6], metode pengerjaan pembuatan keramik di UMKM tersebut masih menggunakan metode tradisional dengan material berasal dari dari bangunjiwo ataupun godean dengan karakteristik yang berbeda [3,37]

2. Material dan metodologi

2.1. Material

Material yang digunakan adalah Material Tanah Liat Lokal yang didapatkan dari Desa Bangunjiwo. Hal tersebut didasarkan pada standar karakteristik tanah liat yang baik didapatkan bahwa keuletan dan kemampuan mudah dibentuk menjadi hal yang harus dimiliki oleh material tanah liat untuk produk keramik [38]. Adapun terkait dengan visual berupa warna pada keramik dipengaruhi oleh dari karakteristik bahan ataupun pada pewarnaan buatan [4]. Analisis yang diperlukan dalam karakterisasi tanah liat yaitu berupa analisis kimia dan analisis fisik [39]. Pada analisis kimia telah dilakukan oleh Winarno [39], Pada penelitian tersebut didapatkan bahwa pada material tanah liat dari Desa Bangunjiwo didapatkan bahwa mineral penyusunnya berupa haloisit dan kaolinit, sedangkan pada daerah Godean berupa smektit dan kaolinit untuk material dari Bukit Jering dan Gunung Wungkal, sedangkan dari Gunung Siwareng berupa smektit, kaolinit dan haloisit [39]. Material tanah liat dari Desa Bangunjiwo memiliki karakteristik yang lebih sesuai dibanding dari area lain di DIY [39]. Adapun standar ukuran butiran harus kurang dari 2 mikron [39]. Pada tahap awal sebelum pengujian tersebut, perlu dilakukan karakterisasi material berupa kehalusan butiran, hal tersebut diperlukan sebagai salah satu requirement pada Mesin 3DP LDM [24], untuk mendapatkan karakter yang sesuai dapat ditambahkan bahan tambah lain [21,40].

2.2. Mesin

Mesin yang digunakan yaitu Mesin 3D Printer Liquid Deposition Modeling (LDM) Tronxy Moore 1 yang memiliki spesifikasi volume cetak sebesar 180 x 180 x 180 mm dengan *feeding* mode yaitu *electric push rod* dan *screw extrusion molding*. Adapun diameter *nozzle* yang dapat digunakan yaitu diameter 1 mm, 3 mm dan 5 mm (Gambar 1).



Gambar 1. Mesin 3D Printer LDM

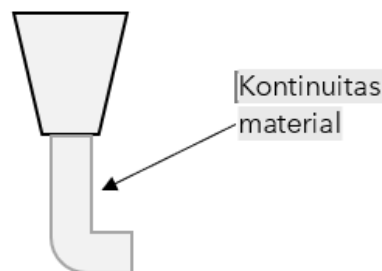
Pada pilot study tersebut dilakukan penambahan penambahan bahan aditif untuk memenuhi kebutuhan viskositas material [40] dan properti mekaniknya [23,41,42] sehingga menghasilkan aliran material yang kontinu (Gambar 2). Adapun sistem ekstruksi yang dapat digunakan yaitu sistem *screw extruder* [43].

2.3. Uji Pumpability

Pada tahap selanjutnya dilakukan analisis *pumpability*, analisis tersebut dilakukan dengan menentukan nilai parameter cetak dengan menggunakan proses perancangan eksperimen. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *container* material mesin yang didorong dengan menggunakan *gearbox* yang diputar menggunakan motor dc sebagai mekanisme pendorongan *syringe* pada *container*. Pengamatan dilakukan dengan mengamati kemampuan material keluar melalui kontainer melalui saluran input chamber [21]. Pada tahap ini juga dilakukan *pilot study* dan *experiment* untuk mendapatkan kombinasi material yang mampu untuk di pompa.

2.4. Uji Extrudability

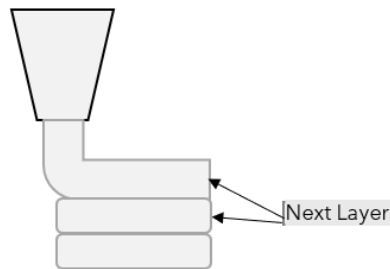
Analisis extrudability dengan menekan material dalam chamber ekstruder dengan menggerakkan motor penggerak *extruder screw* yang diamati kontinuitas material, serta mampu mencetak material secara kontinu saat proses cetak (Gambar 2). *Extrudability* menjadi salah satu dasar dalam proses cetak menggunakan Teknologi 3DP [27]. Pengamatan dilakukan dengan mengamati material keluar melalui *nozzle* secara kontinu (tidak terputus) (Gambar 4) [40]. Jika terjadi permasalahan *extrudability*, maka dilaksanakan modifikasi pilot study dan eksperimen pada uji *pumpability*.



Gambar 2. Skema *extrudability*

2.5. Uji *Buildability*

Pada uji *buildability* dilakukan pengamatan visual dan perhitungan kemampuan material dalam membentuk *next layer*. Pasca uji *buildability*, dapat dilakukan investigasi parameter proses cetak [18].



Gambar 3. Material *buildability*

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Perancangan Material *Clay*

Material yang digunakan merupakan material tanah liat dari Bangunjiwo, Yogyakarta. Material tanah liat yang digunakan dilakukan pengolahan untuk mendapat material yang siap digunakan. Adapun filter yang digunakan merupakan Mesh 100. Proses pelarutan dilakukan melarutkan tanah liat dengan menggunakan Aquades (Gambar 4).



Gambar 4. Material *Clay*

Kemudian material dikeringkan untuk menurunkan kadar air. Berdasarkan hasil *pilot study* yang telah dilakukan didapatkan komposisi bahan antara Air (*Aquades*) dan Tanah Liat (*Clay*). *Pilot study* dilakukan dengan uji coba kombinasi antar bahan tersebut. Adapun besar *clay* ditentukan sebesar 400 gr, hal tersebut didasarkan pada kapasitas dari *container* material untuk mampu tekan material hingga mengeluarkan material melalui *nozzle* adalah 400 gr (Tabel 1).

Tabel 1. Komposisi material *clay* uji

<i>Clay</i> (gr)	<i>Air</i> (ml)
400	50
400	100
400	150
400	200
400	250
400	300
400	350

Pilot study dilakukan untuk mendapatkan nilai *level* parameter. Pada proses persiapan material, dilakukan pelarutan material *clay* mentah, pelarutan dilakukan dengan melarutkan tanah liat dengan menggunakan Aquades. Penggunaan Aquades bertujuan untuk menghindari paparan mineral tertentu yang dapat berpengaruh terhadap properti mekanik bahan.

3.2. Pengujian *pumpability*

Pada hasil percobaan didapatkan material mampu tekan dari *container material* hingga *chamber extruder* yaitu pada komposisi perbandingan air sebesar 200 ml dan *clay* sebesar 400 gr (Gambar 5). Adapun pada kombinasi komposisi material untuk perbandingan air yang lebih kecil menghasilkan material yang tidak mampu pompa (Tabel 2).

Tabel 2. Uji *pumpability*

<i>Clay</i> (gr)	<i>Air</i> (ml)	<i>Pumpability</i>
400	50	×
400	100	×
400	150	×
400	200	√
400	250	√
400	300	√
400	350	√



(a)



(b)

Gambar 5. Material pada *container* (a), dan material pada saluran input *chamber* (b)

3.3. Pengujian *extrudability*

Pada uji *extrudability* didapatkan untuk kemampuan tekan melalui *nozzle* didapatkan pada komposisi air 200 ml dengan besar *clay* sebesar minimal 400 gr, selain itu komposisi air yang lebih tinggi yaitu sebesar 250 ml, 300 ml dan 350 ml menghasilkan material yang mampu untuk diekstrusi (Tabel 3).

Tabel 3. Uji *extrudability*

<i>Clay (gr)</i>	<i>Air (ml)</i>	<i>Extrudability</i>
400	50	×
400	100	×
400	150	×
400	200	√
400	250	√
400	300	√
400	350	√

Kemampuan material *clay* dengan komposisi *clay* sebesar 400 gr dengan penambahan air sebesar 200 ml, 250 ml, 300 ml dan 400 ml mampu menghasilkan material yang mampu untuk diekstrusi menggunakan *screw extruder* (Gambar 6).



Gambar 6. Material mampu keluar melalui *nozzle*

3.4. Pengujian *buildability*

Pada pengujian kemampuan bentuk didapatkan komposisi material yang dapat membentuk *next layer* yaitu pada komposisi air sebesar 200 ml dan *clay* sebesar 400 gr, serta pada komposisi *clay* sebesar 400 gr dan air sebesar 250 ml. Adapun komposisi dengan air sebesar 300 ml, material mampu bentuk, namun hasil secara visual masih tidak sempurna (Tabel 4).

Tabel 4. Uji *buildability*

<i>Clay (gr)</i>	<i>Air (ml)</i>	<i>Buildability</i>
400	50	-
400	100	-
400	150	-
400	200	√
400	250	√
400	300	√*
400	350	×



Gambar 7. Material mampu bentuk

Adapun material dengan komposisi air sebesar 350 ml, tidak mampu untuk membentuk *next layer*. Sehingga menghasilkan hasil cetak yang tidak mampu bentuk (Gambar 8).



Gambar 8. Material tidak mampu bentuk

4. Kesimpulan

Material *clay* lokal yang berasal dari Desa Bangunjiwo DIY mampu digunakan sebagai material Mesin 3D Printer berbasis *screw extruder*. Pengolahan pada material mentah diperlukan untuk mendapatkan material yang memiliki butiran halus dengan proses penyaringan dengan Mesh ukuran 100. Adapun komposisi material yang digunakan yaitu *clay* lokal yang telah diolah serta air. Material *clay* lokal yang mampu untuk membentuk benda 3 dimensi dengan hasil cetak yang mampu bentuk (*buildability*) yaitu komposisi *clay* sebesar 400 gr dengan penambahan air 200 ml atau 250 ml.

Ucapan terima kasih

Penelitian ini didanai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DRTPM) Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Tahun 2024.

Daftar Pustaka

- [1] Pamungkas HA, Hidayatulloh A. Faktor Penentu Perkembangan UMKM Gerabah Kasongan Bantul Yogyakarta. *Inovasi* 2019;15:65–71.
- [2] Pratiwi R. Sentra Kerajinan Gerabah di Malang. *J Senirupa Warn* 2019;7:60–71.

<https://doi.org/10.36806/jsrw.v7i1.68>.

- [3] Akbar T, Prastawa W. Karakteristik Dan Implementasi Tanah Liat Di Lubuk Alung Sebagai Bahan Baku Pembuatan Keramik Hias. *JADECS (Jurnal Art, Des Art Educ Cult Stud* 2019;3:68–73. <https://doi.org/10.17977/um037v3i2p67-73>.
- [4] Yustana P. Karakteristik Tanah Liat Dan Pengaruhnya Terhadap Keberhasilan Warna Glasir. *Corak J Seni Kriya* 2012;1:62–77. <https://doi.org/10.24821/corak.v1i1.2313>.
- [5] Badan Pusat Statistik. Data Ekspor Nasional Tahun 2024 2024. <https://www.bps.go.id/id/exim> (toegang verkry 21 Maart 2024).
- [6] Muhamad Romadoni, Iwan Pranoto. Transformasi Estetik Keramik Kasongan, Bantul, Yogyakarta. *J Pendidik Ilmu Pengetah Sos* 2023;15:113–23. <https://doi.org/10.37304/jpips.v15i1.9519>.
- [7] Hadiati S. Peran Struktur Pasar Dan Daya Saing Dalam Meningkatkan Kinerja Umkm Kerajinan Keramik. *EKUITAS (Jurnal Ekon dan Keuangan)* 2018;20:367–87. <https://doi.org/10.24034/j25485024.y2016.v20.i3.69>.
- [8] Mariah M, Dara SR. Pengaruh Inovasi Produk, Social Media Marketing Dan Citra Merek Terhadap Minat Berkunjung Wisatawan Dan Dampaknya Terhadap Impulsive Buying Pada Sektor Umkm Kerajinan Tanah Liat Di Desa Wisata Gerabah Kasongan Yogyakarta. *J Lentera Bisnis* 2020;9:73–87. <https://doi.org/10.34127/jrlab.v9i2.375>.
- [9] Novitasari AT. Kontribusi UMKM Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Era Digitalisasi Melalui Peran Pemerintah. *JABE (Journal Appl Bus Econ* 2022;9:184–204. <https://doi.org/10.30998/jabe.v9i2.13703>.
- [10] Suyadi, Syahdanur, Suryani S. Analisis Pengembangan Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) di Kabupaten Bengkalis-Riau. *J Ekon KIAT* 2018;29:1–10.
- [11] Kementerian Perindustrian. *Making Indonesia 4.0* 2019:1–8.
- [12] Ratnanta SW, Anggoro PW, Fergiawan PK, Jamari J, Bayuseno AP. Optimization of the Toolpath Strategy for the Master Ceramic Jewelry Mold Pattern Using the Rhinoceros Software and Router CNC Machine. *Proc. 2nd Borobudur Int. Symp. Sci. Technol. (BIS-STE 2020)*, vol. 203, 2021, bl 381–6. <https://doi.org/10.2991/aer.k.210810.066>.
- [13] Anggoro PW, Krishnayuda MB, Yuniarto T, Bawono B, Suharyanti Y, Felasari S, et al. Virtual design and machining of core and cavity for fabrication of dining plate tableware with Kawung batik pattern. *Cogent Eng* 2022;9. <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2084985>.
- [14] Agung ICS, Siswanto T, Bawono B, Anggoro PW. Ergonomic cup handle design analysis at Naruna Ceramic Studio: A literature review. *Cogent Eng* 2023;10. <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2253035>.
- [15] Anggoro PW, Yuniarto T, Bawono B, Setyohadi DB, Felasari S, Widyanarka ODW, et al. Advanced Design and Fabrication of Islamic Tile Ceramic Wall Tiles With Indonesian Batik Patterns Using Artistic CAD/CAM and 3D Printing Technology. *Front Mech Eng* 2022;7:1–14. <https://doi.org/10.3389/fmech.2021.799086>.
- [16] Mahendri C, Anggoro P, PK F, Yuniarto T, Bayuseno A, Jamari. Development of Ceramic Jewellery Industry in the Form of Necklaces with Indonesian Batik Motifs. *AIP Conf. Proc.*, vol. 2674, 2021, bl 387–93. <https://doi.org/10.1063/5.0114917>.
- [17] Nematollahi B, Xia M, Sanjayan J. Current progress of 3D concrete printing technologies. *34th Int. Symp. Autom. Robot. Constr.*, 2017, bl 260–7. <https://doi.org/10.22260/isarc2017/0035>.
- [18] Nizar MS, Arifi E, Nejadi S. Investigation of 3D Printed Clay and Cementitious Material Stability using Numerical Method (Study Case: Design Rules Approach). *J Keramik dan Gelas Indones* 2022;31:14–30.

- [19] Abdulhameed O, Al-Ahmari A, Ameen W, Mian SH. Additive Manufacturing: Challenges, Trends, and Applications. *Adv Mech Eng* 2019;11:1–27. <https://doi.org/10.1177/1687814018822880>.
- [20] Ismianti, Herianto. Adoption of 3D Printing in Indonesia and Prediction of Its Application in 2025. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 2020;722. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/722/1/012028>.
- [21] Pettalolo ANY, Rosid IA, Tontowi AE. Pengembangan Mesin 3D Printing Bangunan Untuk Material Sisa Reruntuhan Bangunan. *J Perad Sains, Rekayasa dan Teknol* 2022;10:122–33. <https://doi.org/https://doi.org/10.37971/radial.v10i1.226>.
- [22] Nair A, Aditya SD, Adarsh RN, Nandan M, Dharek MS, Sreedhara BM, et al. Additive Manufacturing of Concrete: Challenges and opportunities. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 2020;814. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/814/1/012022>.
- [23] Malaeb Z, Hachem H, Tourbah A, Maalouf T, El Zarwi N, Hamzeh F. 3D Concrete Printing: Machine and Mix Design. *Int J Civ Eng Technol* 2015;6:14–22.
- [24] Yin H, Qu M, Zhang H, Lim YC. 3D Printing and Buildings: A Technology Review and Future Outlook. *Technol Archit Des* 2018;2:94–111. <https://doi.org/10.1080/24751448.2018.1420968>.
- [25] Bassan de Moraes MJ, Nagata EY, Felício Peres Duran AJ, Rossignolo JA. Alkali Activated Materials Applied in 3D Printing Construction: A Review. *Heliyon* 2024;10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26696>.
- [26] Jayathilakage R, Rajeev P, Sanjayan J. Rheometry for Concrete 3D Printing: A Review and an Experimental Comparison. *Buildings* 2022;12. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/buildings12081190> Academic.
- [27] Gillispie G, Prim P, Copus J, Fisher J, Mikos AG, Yoo JJ, et al. Assessment Methodologies for Extrusion-Based Bioink Printability. *Biofabrication* 2020;12:139–48. <https://doi.org/10.1088/1758-5090/ab6f0d>.
- [28] Rosid IA, Tontowi AE. Parameter Optimization of Customized FDM 3D Printer Machine for Biocomposite Material [Sago/PMMA] Using 2k Fractional Factorial Design. *OPSI* 2021;14:188–96. <https://doi.org/https://doi.org/10.31315/opsi.v14i2.5352>.
- [29] Shashi GM, Laskar AR, Biswas H. A Brief Review of Additive Manufacturing with Applications. *Proc. 14th Glob. Eng. Technol. Conf., Dhaka: BIAM Foundation; 2017, bl 1–23*. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12520667>.
- [30] Chen Z, Li Z, Li J, Liu C, Lao C, Fu Y, et al. 3D Printing of Ceramics: A Review. *J Eur Ceram Soc* 2019;39:661–87. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.11.013>.
- [31] Madrid JA, Ortega GS, Carabaño JG, Olsson NOE, Ríos JAT. 3D Claying: 3D Printing and Recycling Clay. *Crystals* 2023;13:1–20. <https://doi.org/10.3390/cryst13030375>.
- [32] Manikandan K, Jiang X, Singh AA, Li B, Qin H. Effects of Nozzle Geometries on 3D Printing of Clay Constructs: Quantifying Contour Deviation and Mechanical Properties. *Procedia Manuf* 2020;48:678–83. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.05.160>.
- [33] Li Y, Ren X, Zhu L, Li C. Biomass 3D Printing: Principles, Materials, Post-Processing and Applications. *Polymers (Basel)* 2023;15. <https://doi.org/10.3390/polym15122692>.
- [34] Rosenthal M, Henneberger C, Gutkes A, Bues CT. Liquid Deposition Modeling: a Promising Approach for 3D Printing of Wood. *Eur J Wood Wood Prod* 2018;76:797–9. <https://doi.org/10.1007/s00107-017-1274-8>.
- [35] Bezzi F, Fannri P, Magnani G, Salernitano E, Scafe M, Strafella A. Aqueous Aluminium Titanate Paste for the Liquid Deposition Modelling. *Open Ceram* 2022;9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.oceram.2022.100224>.
- [36] 3D Clay Material Price. *viesc.com* 2024:1. <https://www.viesc.com/product-8000056.html> (toegang verkry 19 Maart 2024).

- [37] Herindrasti V. S, Winarno E, Prawiro G. Inisiatif Lokal dalam Pengembangan Pariwisata dan Perlindungan Kelestarian Hutan Kalibiru Kalurahan Hargowilis Kapanewon Kokap Kabupaten Kulon Progo DIY. *Indep J Polit Indones dan Glob* 2022;3:49–53. <https://doi.org/10.24853/independen.3.2.49-62>.
- [38] Hardono V, Dewa PK, Kurnia H. Analisis Pemilihan Pemasok Tanah Liat dalam Perbaikan Kualitas pada UMKM Kerajinan Gerabah. *J@ti Undip J Tek Ind* 2023;18:190–201. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jati.18.3.190-201>.
- [39] Winarno T. Perbandingan Karakteristik Lempung Kasongan dan Godean Sebagai Bahan Baku Industri Gerabah Kasongan. *Teknik* 2016;37:41–6.
- [40] Pettalolo ANY, Rosid IA, Tontowi AE. Pengembangan Material Reusable Concrete untuk 3DP Building. *Conf. Senat. STT Adisutjipto Yogyakarta*, vol. 6, 2020, bl 59–66. <https://doi.org/10.28989/senatik.v6i0.414>.
- [41] Jauk J, Gosch L, Vašatko H, Königsberger M, Schlusche J, Stavric M. Filament-Reinforced 3D Printing of Clay. *Materials (Basel)* 2023;16. <https://doi.org/10.3390/ma16186253>.
- [42] Raharjo D, Subakti A, Tavio. Mixed Concrete Optimization using Fly Ash, Silica Fume and Iron Slag on the SCC's Compressive Strength. *Procedia Eng* 2013;54:827–39. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.03.076>.
- [43] Pitayachaval P, Watcharamaisakul P. A review of a machine design of chocolate extrusion based co-rotating twin screw extruder. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 2019;703. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/703/1/012012>.