

Akurasi Dimensi Komponen Multi-material Hasil Manufaktur *Digital Light Processing (DLP) 3D Printing*

Zidan Yusron Wijanarko¹, Muslim Mahardika¹, Budi Arifvianto¹

Universitas Gadjah Mada

DOI: <https://10.47134/jme.v1i1.2191>

*Correspondensi: Budi Arifvianto

Email: budi.arif@ugm.ac.id

Published: 25 January 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Abstrak: Benda kerja hasil manufaktur 3D printing yang awalnya hanya untuk keperluan rapid prototyping, kini aplikasinya sudah digunakan untuk produk final. Dalam perkembangannya, diperlukan metode yang mampu mengakomodir pembuatan struktur multi-material karena terdapat struktur kompleks yang membutuhkan material keras dan material elastis dalam satu part sekaligus. Manufaktur multi-material dengan struktur laminate pada DLP 3D printing dapat dilakukan dengan mengganti material resin secara berkala sesuai kebutuhan. Salahsatu aspek yang penting dalam manufaktur multi-material 3D printing adalah akurasi dimensi. Pada penelitian ini dipelajari akurasi ketebalan lapisan spesimen multi-material dari hasil manufaktur DLP 3D printer. Spesimen dimanufaktur dengan desain CAD yang seragam, namun dengan berbagai variasi jumlah pasangan lapisan material. Ketebalan setiap lapisan spesimen diukur. Dari hasil pengukuran diketahui bahwa terdapat kesalahan (error) ketebalan pada setiap

spesimen akibat adanya fenomena bottom layer dan pengaruh jangkauan penetrasi sinar UV pada teknik DLP 3D printing akibat perbedaan kepekatan warna material resin serta konsentrasi photoinitiator.

Kata Kunci: Digital Light Processing, 3D Printing, Akurasi, Multi-material

Abstrak: *Workpieces resulting from 3D printing manufacturing which were initially only for rapid prototyping purposes, are now used for final products. In its development, a method is needed that can accommodate the creation of multi-material structures because there are complex structures that require hard materials and elastic materials in one part at once. Multi-material manufacturing with a laminate structure in DLP 3D printing can be done by changing the resin material periodically as needed. One important aspect in multi-material 3D printing manufacturing is dimensional accuracy. In this research, the accuracy of multi-material specimen layer thickness from DLP 3D printer manufacturing was studied. The specimens were manufactured with a uniform CAD design, but with varying numbers of material layer pairs. The thickness of each layer of the specimen is measured. From the measurement results, it is known that there is an error in the thickness of each specimen due to the bottom layer phenomenon and the influence of the penetration range of UV light in the DLP 3D printing technique due to differences in the color density of the resin material and the concentration of the photoinitiator.*

Keywords: Digital Light Processing, 3D Printing, Accuracy, Multi-material

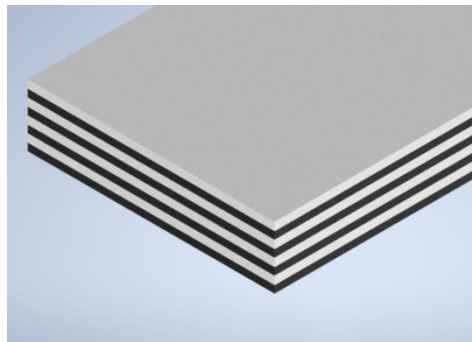
PENDAHULUAN

Teknologi 3D *printing* sudah diaplikasikan dalam berbagai bidang industri, seperti otomotif (Romero dkk., 2021) dan robotik (Matharu et al, 2023). Pemanfaatan benda kerja hasil 3D *printing* pada awalnya hanya digunakan untuk keperluan prototipe yang menjadi gambaran dari produk final yang akan dimanufaktur secara massal. Namun pada perkembangannya, benda kerja hasil 3D *printing* juga sudah dimanfaatkan sebagai produk final yang digunakan secara langsung (Rayna dan Striukova, 2016).

Salahsatu pemanfaatan 3D *printing* dalam produk final yaitu pada aktuator kaki gurita berbasis pneumatik. Aktuator tersebut membutuhkan material elastis dan material keras sekaligus dalam satu part yang sama (Song dkk., 2023). Dengan demikian, muncul juga kebutuhan akan manufaktur multi-material pada proses 3D *printing*.

Salahsatu metode 3D *printing* yang terbukti mampu memmanufaktur benda kerja multi-material adalah *digital light processing* (DLP) 3D *printing* (Han dkk., 2019). DLP 3D *print* banyak dipilih karena merupakan 3D *printing* berbasis resin yang mampu memmanufaktur benda kerja dengan sifat mekanis yang beragam (Chhabra dkk., 2022). Selain itu, DLP 3D *print* mampu memmanufaktur benda kerja dengan resolusi hingga 50 μm (Shenzhen Anycubic Technology Co., Ltd, 2021).

Pengaplikasian multi-material pada DLP 3D *printing* paling mudah adalah dengan susunan *laminated*, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Akurasi dimensi dari susunan *laminated* tersebut sangat penting untuk diketahui karena ketebalan setiap lapisannya mempengaruhi sifat mekanis dari benda kerja yang dihasilkan. Selain itu, akurasi dimensi total dari benda kerja juga penting untuk dipelajari karena terkait dengan suaian dan toleransi saat pengaplikasian benda kerja dalam assembly.

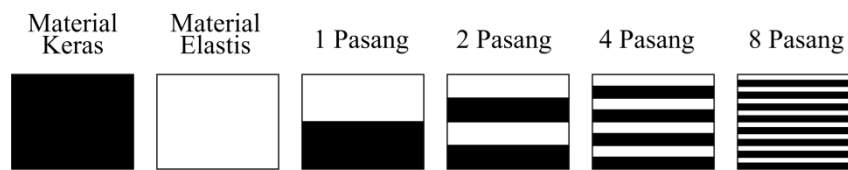


Gambar 1. Struktur laminated multi-material

Penelitian terkait multi-material pada DLP 3D *printing* lebih banyak didominasi oleh penelitian terkait metode manufaktur dan optimasi parameter *printing* (Choi dkk., 2011; Han dkk., 2019; Khatri dkk., 2020; Mao dan Chen, 2021). Di sisi lain, penelitian akurasi dimensi pada DLP 3D *printing* sejauh ini banyak berfokus pada akurasi pada arah x dan y (Arcaute dkk., 2010). Sedangkan dalam struktur multi-material *laminated* akurasi dimensi pada arah z (ketebalan) pada setiap lapisan material sangat penting untuk dipelajari, terutama pada struktur yang menerima beban momen (Beer dkk., 2014). Akurasi ketebalan lapisan material menjadi salahsatu faktor penting dalam menentukan sifat mekanis dari struktur multi-material *laminated*. Sehingga, penelitian ini berfokus pada penelitian akurasi dimensi ketebalan lapisan pada multi-material DLP 3D *printing*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui akurasi ketebalan dan mengetahui faktor penyebab kesalahan (*error*) ketebalan lapisan material pada struktur multi-material *laminated* (Awali et al., 2020).

METODE

Dalam penelitian ini, spesimen dengan panjang 127 mm, lebar 12,7 mm, dan tebal 3,2 mm dibuat dengan 6 variasi, yakni 2 jenis spesimen single-material, 4 jenis spesimen multi-material. Satu spesimen single-material menggunakan material elastis (eSUN eResin-eLastic) sedangkan spesimen single-material yang lain menggunakan material keras (eSUN eResin-PLA) (Mekarona et al., 2023). Di sisi lain, spesimen multi-material dimanufaktur dengan susunan *laminat* dengan variasi jumlah pasangan layer: 1, 2, 4, dan 8 pasang. Pada penelitian ini menggunakan 10 buah spesimen untuk masing-masing jenis spesimen. Konfigurasi jenis spesimen dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Susunan konfigurasi jenis spesimen

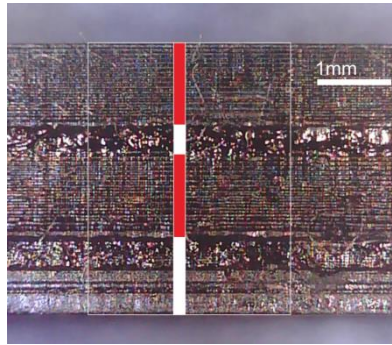
Spesimen dimanufaktur dengan *printing parameter* sesuai rekomendasi pabrikan seperti pada Tabel 1. Proses *printing* pada spesimen multi-material selalu dimulai dari lapisan material keras terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan dengan lapisan material elastis hingga seluruh geometri spesimen terbentuk. Setiap pergantian material, permukaan spesimen dibersihkan terlebih dahulu untuk menghindari kontaminasi pada tangki resin (Karuniawan et al., 2022).

Tabel 1. *Printing parameter* (Shenzhen Esun Industrial Co., 2021)

Parameter	Nilai	
Exposure Time	8	s
Bottom Exposure Time	40	s
Layer Height	0.05	mm
Bottom Layer Height	6	mm
Lift Distance	6	mm
Retract Distance	6	mm
Lift Speed	240	mm/min
Retract Speed	360	mm/min

Setiap spesimen yang telah dibangun menggunakan mesin DLP 3D *printing* Anycubic Photon Mono 4k kemudian diukur ketebalannya pada 3 titik: ujung kiri, tengah, dan ujung kanan. Untuk spesimen multi-material pengukuran dilanjutkan dengan pengukuran ketebalan layer menggunakan mikroskop pada tengah spesimen. Ketebalan

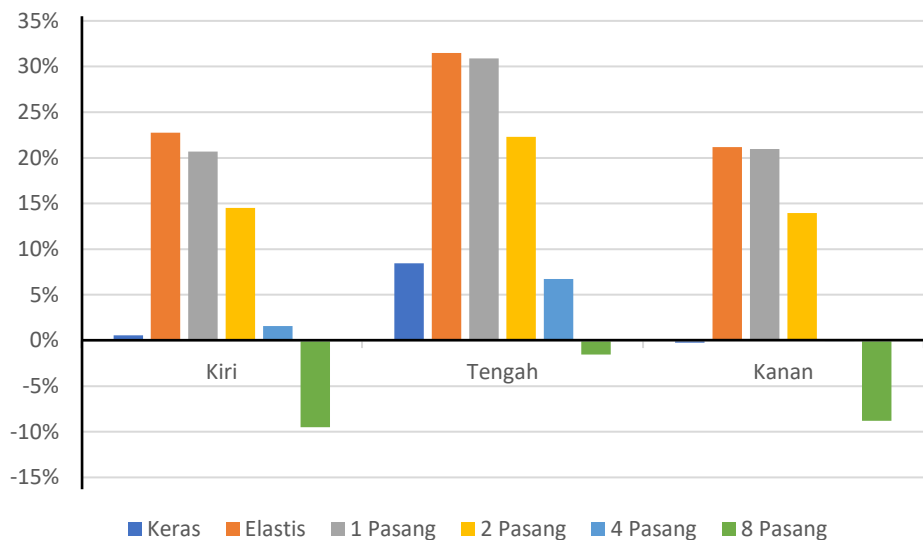
layer pada spesimen diidentifikasi dan diukur dari gambar hasil tangkapan optik mikroskop seperti pada Gambar 3.



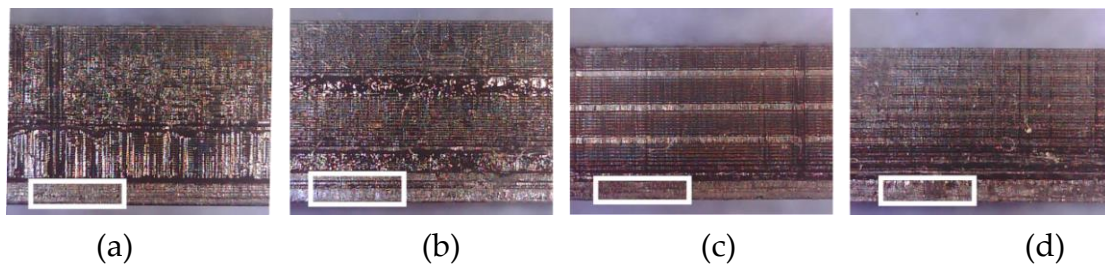
Gambar 3. Identifikasi ketebalan layer dari spesimen

HASIL DAN PEMBAHASAN

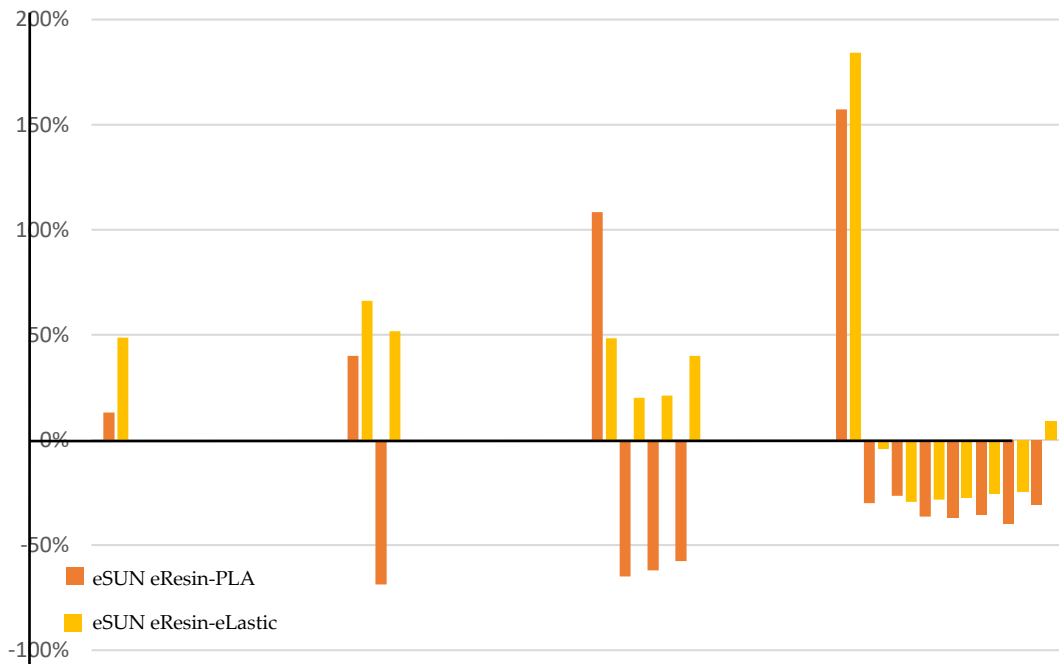
Hasil rata-rata pengukuran ketebalan spesimen yang ditunjukkan pada Gambar 4 menunjukkan bahwa spesimen cenderung mengalami penambahan ketebalan dari desain CAD, kecuali pada spesimen multi-material 8 pasang. Pertambahan dimensi ini terjadi karena adanya *bottom layer* yang mendapatkan durasi eksposur sinar UV yang lebih lama (Vitale dan Cabral, 2016). Citra visual mikroskop dari penampang samping spesimen pada Gambar 5 yang menunjukkan adanya fenomena *bottom layer* pada setiap jenis spesimen mengonfirmasi adanya faktor *bottom layer* terhadap penambahan ketebalan spesimen.



Gambar 4. Presentase *error* ketebalan spesimen pada bagian kiri, tengah, dan kanan



Gambar 5. Fenomena *bottom layer* pada spesimen multi-material (a) 1 pasang, (b) 2 pasang, (c) 4 pasang, dan (d) 8 pasang.



Gambar 6. Grafik *error* ketebalan lapisan pada spesimen multi-material

Kontribusi pertambahan ketebalan pada spesimen juga didapatkan dari karakteristik respon masing-masing material terhadap rangsangan sinar UV. Dari Gambar 4 diketahui bahwa dengan durasi eksposur yang sama, eSUN eResin-eLastic menghasilkan spesimen single-material yang lebih tebal dibandingkan material eSUN eResin-PLA. Fenomena ini juga terjadi pada spesimen multi-material, di mana pada setiap lapisan material eSUN eResin-eLastic menghasilkan lapisan yang lebih tebal daripada lapisan material eSUN eResin-PLA, kecuali pada *bottom layer*, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Perbedaan ketebalan ini terjadi karena perbedaan transparansi material resin antara eSUN eResin-eLastic dengan eSUN eResin-PLA. eSUN eResin-eLastic memiliki warna yang lebih transparan sehingga penetrasi sinar UV pada resin menjadi lebih jauh dibandingkan dengan eSUN eResin-PLA yang memiliki warna lebih pekat (Vitale dan Cabral, 2016). Penetrasi yang lebih jauh ini menyebabkan ketebalan resin yang mengeras akibat paparan sinar UV menjadi lebih tebal.

Perbedaan jangkauan penetrasi sinar UV ini juga yang menyebabkan *error* ketebalan spesimen semakin kecil pada jumlah pasangan lapisan multi-material yang lebih banyak. Bahkan, ketebalan spesimen dengan 8-pasangan-lapisan lebih kecil daripada ketebalan spesimen yang ditargetkan pada CAD. Fenomena ini terjadi karena penetrasi sinar UV

yang seharusnya mampu lebih jauh, terhalangi oleh lapisan material eSUN eResin-PLA yang memiliki karakteristik lebih pekat daripada eSUN eResin-eLastic.

Selain itu, perbedaan konsentrasi *photoinitiator* juga menyebabkan perbedaan *curing threshold* antara eSUN eResin-eLastic dengan eSUN eResin-PLA. Konsentrasi *photoinitiator* pada eSUN eResin-eLastic yang sejumlah 5% menyebabkan *curing tresshold* material tersebut menjadi lebih rendah (Jakubiak dan Rabek, 2001) dibandingkan dengan resin eSUN eResin-PLA yang hanya memiliki kandungan *photoinitiator* sejumlah 3%. Dengan kata lain, resin eSUN eResin-eLastic memerlukan intensitas sinar UV yang lebih rendah untuk mengeras dibandingkan resin eSUN eResin-PLA.

SIMPULAN

Akurasi ketebalan spesimen multi-material DLP 3D printing dipengaruhi oleh adanya fenomena bottom layer akibat durasi eksposur sinar UV yang lebih lama, jangkauan penetrasi dari sinar UV pada resin, dan curing threshold. Fenomena bottom layer terjadi karena durasi eksposur sinar UV yang lebih lama. Jangkauan penetrasi sinar UV pada resin dipengaruhi oleh kepekatan warna resin. Sedangkan curing threshold dipengaruhi oleh konsentrasi photoinitiator.

DAFTAR PUSTAKA

- Arcaute, K., Mann, B., dan Wicker, R. (2010). Acta Biomaterialia Stereolithography of spatially controlled multi-material bioactive poly (ethylene glycol) scaffolds. Acta Biomaterialia, 6(3), 1047–1054. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2009.08.017>
- Awali, J., Tanjung, R. A., Sasria, N., Putri, M., & Lubis, D. (2020). Pelatihan 3D Printing Dengan Metode Daring Untuk Siswa Smkn 5 Dan Smkn 2 Balikpapan.
- Beer, F., Johnston, E., dan DeWolf, J. (2014). Mechanics of materials, 7th SI Edition. (Vol. 1, Issue 10).
- Chhabra, M., Nanditha Kumar, M., RaghavendraSwamy, K. N., dan Thippeswamy, H. M. (2022). Flexural strength and impact strength of heat-cured acrylic and 3D printed denture base resins- A comparative in vitro study. Journal of Oral Biology and Craniofacial Research, 12(1), 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2021.09.018>
- Choi, J. W., Kim, H. C., dan Wicker, R. (2011). Multi-material stereolithography. Journal of Materials Processing Technology, 211(3), 318–328. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.10.003>.
- Han, D., Yang, C., Fang, N. X., dan Lee, H. (2019). Rapid multi-material 3D printing with projection micro-stereolithography using dynamic fluidic control. Additive Manufacturing, 27(April), 606–615. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.03.031>
- Jakubiak, J., dan Rabek, J. F. (2001). Three-dimensional (3D) photopolymerization in the stereolithography. Part II. Technologies of the 3D photopolymerization.

- Polimery/Polymers, 46(3), 164–172. <https://doi.org/10.14314/polimery.2001.164>
- Karuniawan, B. W., Rachman, F., & Yoningtias, M. T. (2022). Metode Taguchi Untuk Optimasi Parameter Mesin Printer 3D Terhadap Kualitas Produk Material Abs. Austenit, 14(2), 61–68. <http://doi.org/10.5281/zenodo.7265857>
- Khatri, B., Frey, M., Raouf-fahmy, A., dan Scharla, M. (2020). Development of a Multi-Material Stereolithography 3D Printing Device. Micromachines. May. <https://doi.org/10.3390/mi11050532>
- Mao, H., dan Chen, Y. (2021). Multi-material stereolithography using curing- on-demand printheads. Rapid Prototyping Journal. June. <https://doi.org/10.1108/RPJ-05-2020-0104>
- Matharu, P. S., Wang, Z., Costello, J. H., Colin, S. P., Baughman, R. H., dan Tadesse, Y. T. (2023). SoJel –A 3D printed jellyfish-like robot using soft materials for underwater applications. Ocean Engineering, 279(April), 114427. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114427>
- Mekarona, D., Poesoko, A. S. S., & ... (2023). Analisis Penerapan Metode Rapid Prototyping Dalam Pembuatan Prototipe Dan Optimization Perubahan Diameter Pulley Pada Mesin Maker Di PT. XYZ. ... Nasional Teknologi Industri ..., Senastitan Iii, 1–11.
- Rayna, T., dan Striukova, L. (2016). From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. Technological Forecasting and Social Change, 102, 214–224. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.023>
- Romero, P. E., Arribas-Barrios, J., Rodriguez-Alabanda, O., González-Merino, R., & Guerrero-Vaca, G. (2021). Manufacture of polyurethane foam parts for automotive industry using FDM 3D printed molds. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 32, 396–404. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.01.019>
- Shenzhen Anycubic Technology Co., Ltd, (2021) Anycubic Photon Mono 4k User Manual
- Shenzhen Esun Industrial Co., L. (2021) eResin-PLA Technical Data Sheet, Materials Technical Data Sheet. Available on: <https://www.esun3d.com/eresin-pla-product/>
- Song, Q., Chen, Y., Hou, P., Zhu, P., Helmer, D., Kotz-helmer, F., dan Rapp, B. E. (2023). Fabrication of Multi-Material Pneumatic Actuators and Microactuators Using Stereolithography. Micromachines, 14, 244. <https://doi.org/10.3390/mi14020244>
- Vitale, A., dan Cabral, J. T. (2016). Frontal conversion and uniformity in 3D printing by photopolymerisation. Materials, 9(9), 1–13. <https://doi.org/10.3390/ma9090760>