

**EFEK GRADIENT INFILL YANG BERBEDA STRUCTURE  
TERHADAP PERILAKU MEKANIK DENGAN MATERIAL  
POLY LACTID ACID (PLA)**



**TUGAS AKHIR**

**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Dalam Menyelesaikan Pendidikan Strata 1**

**Pada Jurusan Teknik Mesin**

**Disusun:**

**M. RIZKY HIDAYAT**

**NPM. 1802220156**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS TRIDINANTI**

**2023**

UNIVERSITAS TRIDINANTI  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN

TUGAS AKHIR

EFEK GRADIENT INFILL YANG BERBEDA STRUCTURE TERHADAP  
PERILAKU MEKANIK DENGAN MATERIAL POLY LACTID ACID  
(PLA)

Disusun :

M. RIZKY HIDAYAT

NPM. 1802220156

Mengetahui, Diperiksa dan Disetujui Oleh :

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dosen Pembimbing I

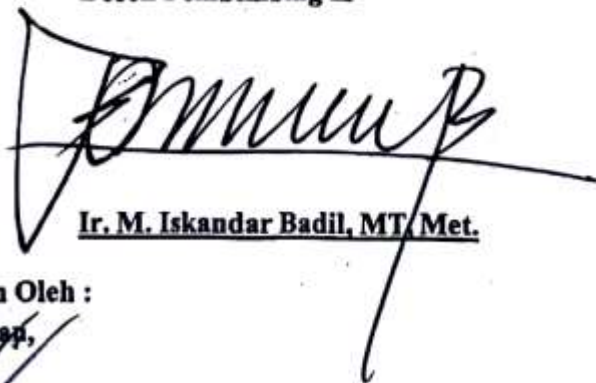


Ir. H. Muhammad Lazim, MT.



Ir. Iskandar Husin, MT.

Dosen Pembimbing II



Ir. M. Iskandar Badil, MT/Met.

Disahkan Oleh :

Dekap,



Ir. Zulkarnain Fatoni, MT., MM.

**EFEK GRADIENT INFILL YANG BERBEDA STRUCTURE TERHADAP  
PERILAKU MEKANIK DENGAN MATERIAL POLY LACTID ACID  
(PLA)**



**Disusun :**

**M. RIZKY HIDAYAT**

**NPM. 1802220156**

**Telah Disetujui Oleh Dosen Pembimbing :**

**Pembimbing I**

**Ir. Iskandar Husin, MT.**

**Pembimbing II**

**Ir. M. Iskandar Badil, MT, Met.**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin**

**Ir. H. Muhammad Lazim, MT.**

**TUGAS AKHIR**

**EFEK GRADIENT INFILL YANG BERBEDA STRUCTURE TERHADAP  
PERILAKU MEKANIK DENGAN MATERIAL POLY LACTID ACID  
(PLA)**

**Disusun Oleh:**

**M. RIZKY HIDAYAT**

**1802220156**

Telah Diuji dan Dinyatakan Lulus Dalam Ujian Sidang Sarjana

Pada Tanggal 20 Maret 2023

**Tim Penguji,**

**Nama :**

**Tanda Tangan :**

1. Ketua Tim Penguji

Hj. Rita Maria Veranika, ST, MT.



.....

2. Penguji 1

Ir. Togar. PO. Sianipar, MT.



.....

3. Penguji 2

Ir. H. Muhammad Lazim, MT.



.....

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Rizky Hidayat

NIM : 1802220156

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir yang berjudul **“Efek Gradient Infill Yang Berbeda Structure Terhadap Perilaku Mekanik Dengan Material Poly Lactid Acid (Pla)”** adalah benar merupakan karya sendiri, Hal-hal yang bukan karya saya, dalam tugas akhir tersebut diberi tanda citasi dan ditunjukkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar dan di temukan pelanggaran atas karya turgas akhir ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan tugas akhir dan gelar saya yang saya peroleh dari tugas akhir tersebut.

Palembang, 10 April 2023

Yang Membuat Pernyataan



M. Rizky Hidayat

NIM. 1802220156

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai Civitas Akademika Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Tridinanti Palembang , Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : M. Rizky Hidayat

Nim : 1802220156

Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan untuk memberikan kepada pihak  
Universitas Tridinanti Palembang hak bebas royalti noneklusif (*non exclusive  
royalty free right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**EFEK GRADIENT INFILL YANG BERBEDA STRUCTURE TERHADAP  
PERILAKU MEKANIK DENGAN MATERIAL POLY LACTID ACID  
(PLA)**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan), dengan hak royalti eksklusif  
ini Universitas Tridinanti Palembang berhak menyimpan, mengalih mediakan,  
mengelola dalam bentuk data base dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap  
mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan pemilik hak cipta.  
Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya tanpa ada paksaan dan  
tekanan dari pihak manapun.

Dibuat di Palembang, 10 April 2023  
Yang menyatakan,



M. Rizky Hidayat  
Nim : 1802220156

## SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : M. Rizky Hidayat

Nim : 1802220156

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Mesin

Dengan ini menyatakan bahwa judul artikel:

### **Efek Gradient Infill Yang Berbeda Structure Terhadap Perilaku Mekanik Dengan Material Poly Lactid Acid (Pla)**

Benar bebas dari publikasi ganda, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi berlaku dari pihak program studi dan institusi Universitas Tridinanti.

Demikian surat pernyataan ini saya buat penuh kesadaran, dan tanpa paksaan dari pihak manapun. Sehingga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Palembang, 10 April 2023

Yang Menyatakan,

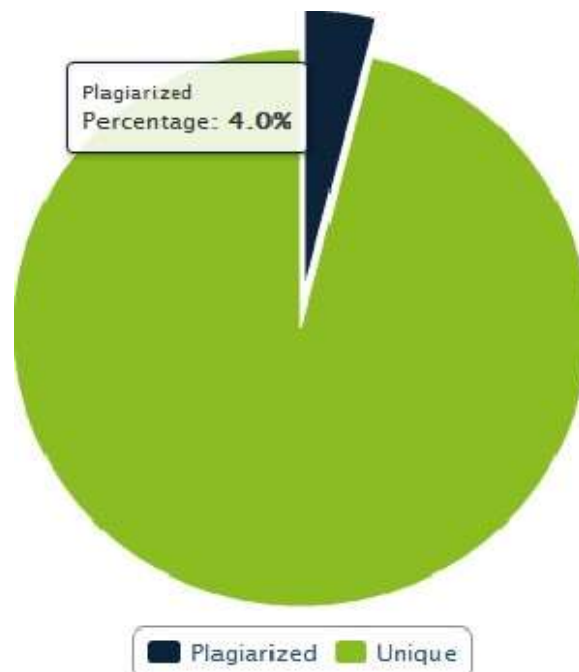
A 10,000 Rupiah Indonesian banknote is shown with a signature written over it. The banknote features the Garuda Pancasila emblem and the number 10000. The signature is in black ink and appears to be 'M. Rizky Hidayat'.

M. Rizky Hidayat

1802220156



## Plagiarism Checker X Originality Report



Date	Minggu, April 02, 2023
Words	1 77 Plagiarized Words / Total 4252 Words
Sources	More than 29 Sources Identified.
Remarks	Low Plagiarism Detected - Your Document needs Optional Improvement.





# Plagiarism Checker X Originality Report

**Similarity Found: 4%**

Date: Minggu, April 02, 2023

Statistics: 177 words Plagiarized / 4252 Total words

Remarks: Low Plagiarism Detected - Your Document needs Optional Improvement.

---

1 **BAB 1 PENDAHULUAN 1.1** Latar Belakang Additive manufacturing (AM) atau yang umum disebut dengan istilah 3D printer, teknologi ini merupakan salah satu teknologi yang sangat menjanjikan dimana memungkinkan pembuatan komponen-komponen kompleks berdasarkan model desain dari Computer Aided Design (CAD) yang seringkali tidak dapat dicapai dengan cara manufaktur tradisional subtractive seperti halnya CNC dimana material dilakukan permakanan sehingga menyebabkan pemborosan material.

Munculnya 3D printer opensource berbiaya rendah telah menyebabkan proliferasi teknologi yang sangat signifikan dalam beberapa tahun terakhir ini. Salah satunya adalah 3D printer yang menggunakan prinsip **Fused Deposition Modelling (FDM)** untuk proses manufaktur, adapun prinsip 3D printer FDM adalah membentuk geometri melalui lapisan demi lapisan filamen termoplastik yang dipanaskan [1]. Mengenai 3D printer FDM, material Polylactide acid (PLA) adalah salah satu material yang paling sering digunakan pada 3D printer FDM adapun PLA merupakan material biodegradable, non-toxic dan sifat mekanik yang relatif cukup baik [2].

Selain itu material PLA ini juga memiliki nilai melting point yang cukup rendah, diantara 190C sampai 230C [3] dan mengenai teknologi 3D printer FDM saat kita ingin mencetak suatu objek kita dapat mengatur parameter-parameter seperti layer thickness, speed pencetakan, 2 Adapun struktur infill dalam beberapa tahun terakhir penelitian hanya berfokus pada thickness struktur yang sama di sepanjang objek [4] dan ketika specimen di uji katakanlah pengujian tree point bending maka konsentrasi tegangan akan terjadi pada daerah tengah-tengah specimen dimana konsentrasi

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

“Hiduplah seakan-akan kamu akan mati hari esok dan belajarlh seolah kamu akan hidup selamanya.”

### *PERSEMBAHAN*

*Kupersembahkan untuk:*

- ❖ *Kedua orang tuaku yang tercinta yang telah memberikan semangat yang selalu mendoakan yang terbaik untuk anak laki-laki-Nya ini, serta kasih sayang yang selalu menyertai setiap langkahku dalam mengerjakan skripsi ini.*
- ❖ *Terimakasih kepada orang terdekat Sri Lestari. S yang selalu memberikan support, semangat dan yang telah banyak mengajarku dalam mengerjakan skripsi ini, terkhususnya dalam hal kesabaran.*
- ❖ *Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Universitas Tridinanti Palembang khususnya angkatan 2018 serta Almamater kebanggaan.*

## ABSTRAK

penelitian ini bertujuan menganalisis efek gradient infill terhadap perilaku mekanik material polylactide acid (PLA) hasil pencetakan 3D printing, gradient infill merupakan teknik pencetakan 3D yang mengatur kepadatan lapisan secara bertahap pada bagian dalam sebuah model, sehingga dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan struktur yang dihasilkan. Dalam penelitian ini specimen di design menggunakan perangkat lunak nTopology dan terdapat variasi unit cells yaitu square, honeycomb, diamond dan gyroid yang masing-masing dibuat gradient dan non-gradient selanjutnya pengujian bending dilakukan untuk mengetahui perilaku mekanik material PLA.

Hasil menunjukan perilaku mekanik specimen gradient infill memiliki pengaruh yang sangat significant terhadap deflection dan flexural strength yang masing-masing di prediksi menggunakan regresi linear. Berdasarkan hasil dari penelitian ini peneliti menyimpulkan penelitian ini peneliti juga menyimpulkan bahwa struktur TPMS seperti gyroid dan diamond memiliki perilaku mekanik yang sangat baik dari nilai deflection dan flexural modulus jika dibandingkan dengan struktur lattice seperti square dan honeycomb. Sehingga penelitian ini telah mencapai hasil yang sangat baik dan dapat dijadikan acuan untuk penelitian-penelitian selanjutnya dalam mengkaji parameter yang secara aktif dapat mempengaruhi perilaku mekanik serta pengembangan-pengembang struktur baru yang lebih optimal.

**Kata Kunci:** Infill, Gradient, PLA, 3D printing

## **ABSTRACT**

*Aims this study to analyze the effect of infill gradients on the mechanical behavior of polylactide acid (PLA) materials resulting from 3D printing, gradient infill is a 3D printing technique that regulates the density of layers gradually on the inside of a model, so as to increase the strength and rigidity of the resulting structure. In this study, specimens were designed using nTopology software and there were variations of unit cells, namely square, honeycomb, diamond and gyroid, each of which was made gradient and non-gradient, then bending testing was carried out to determine the mechanical behavior of PLA materials.*

*The results show that the mechanical behavior of specimen gradient infill has a very significant influence on deflection and flexural strength, each of which is predicted using linear regression. Based on the results of this study, the researcher concluded that this study also concluded that TPMS structures such as gyroids and diamonds have excellent mechanical behavior from the value of deflection and flexural modulus when compared to lattice structures such as squares and honeycombs. So that this research has achieved excellent results and can be used as a reference for subsequent studies in assessing parameters that can actively affect mechanical behavior and the development of new structures that are more optimal.*

**Keywords:** *Infill, Gradient, PLA, 3D printing*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Efek Gradient Infill Yang Berbeda Structure Terhadap Perilaku Mekanik Dengan Material Poly Lactid Acid (Pla)”** tepat pada waktunya.

Tugas Akhir ini merupakan persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Strata 1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tridinanti.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulis banyak menerima bimbingan dan bantuan dari semua pihak, pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Hj. Nyimas Manisah, MP. Selaku Rektor Universitas Tridinanti
2. Bapak Ir. Zulkarnain Fatoni, MT., MM. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tridinanti
3. Bapak Ir. H. Muhammad Lazim, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tridinanti
4. Bapak Martin Luther King, ST., MT. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tridinanti
5. Bapak Ir. Iskandar Husin, MT. Selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak arahan dan pembelajaran dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Ir. Muhammad Iskandar Badil, MT, Met. Selaku Dosen Pembimbing II yang banyak mengoreksi dan memberi masukan serta saran yang membangun dalam penulisan dan penyusunan Tugas Akhir ini.

7. Seluruh Staf Dosen dan Karyawan Fakultas Teknik Mesin Universitas Tridinanti.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih belum sempurna, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritikan dan saran.

Akhir kata penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat berguna bagi Mahasiswa, Khususnya Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Tridinanti maupun penulis itu sendiri.

Palembang, 10 April 2023



M. Rizky Hidayat

Nim : 1802220156

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN PERSETUJUAN SKRIPSI .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN PENGUJIAN SKRIPSI.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</b>	<b>vi</b>
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Cellular structure.....	8
2.2 Pengisi ( <i>infill</i> ).....	9
2.3 Lattice Structure .....	10
2.4 Triply Periodic Minimal surface (TPMS) .....	12

2.5 Aplikasi Polymer polylactide acid (PLA) .....	14
2.6 ASTM D790.....	14
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	17
3.2 Design Specimen.....	18
3.3 Slicer .....	19
3.4 Fabrikasi Specimen Menggunakan 3D printing.....	20
3.5 Specimen Pengujian.....	21
3.6 Pengujian Bending .....	22
3.7 Kurva Tegangan Regangan.....	23
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>25</b>
4.1 Pengujian Bending .....	25
4.2 Pengelolaan Data.....	26
4.3 Hasil Pengujian Banding.....	26
4.4 Specimen Measurement .....	27
4.5 Analysis Deflection.....	28
4.6 Analysis Perilaku Maknik.....	30
4.7 Crack Analysis .....	33
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>35</b>
5.1 Kesimpulan .....	35
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>36</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>39</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Cellular Material .....	9
Gambar 2.2 Pengisi ( <i>lattice dan TPMS infill</i> ) .....	10
Gambar 2.3 a. Lattice Structure b. lattice pada turbin blade.....	12
Gambar 2.4 TPMS Structure.....	13
Gambar 2.5 PLA Untuk A. Bidang automotive B. Food packaging.....	14
Gambar 2.6 Pengujian Bending ASTM D790 .....	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	17
Gambar 3.2 Design Specimen Pengujian Bending .....	18
Gambar 3.3 Operasi RAMP Pada Perangkat lunak nTopology.....	19
Gambar 3.4 <i>Ultimaker Cura 5.1.0</i> .....	20
Gambar 3.5 Mesin Cetak 3D Printer FDM. ....	21
Gambar 3.6 Specimen Hasil Fabrikasi.....	21
Gambar 3.7 Prosedur Pengujian Bending ASTM D790. ....	22
Gambar 3.8 A. Material dengan wilayah linear B. Material yang tidak ada wilayah linear.....	24
Gambar 4.1 Pengujian Bending .....	25
Gambar 4.2 Perbandingan deflection specimen gradient dan <i>non-gradient</i> .....	29
Gambar 4.3 Hubungan antara thicknes dan deflection .....	30
Gambar 4.4 Hubungan antara average A. gradient dan B. <i>non-gradient</i> thickness infill dan flexural modulus .....	33
Gambar 4.5 Fracture Specimen.....	34

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jurnal Review.....	7
Tabel 3.1 Pengaturan Pencetakan .....	19
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Specimen .....	27
Tabel 4.2 Karakterisasi Specimen.....	27

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Additive manufacturing (AM)* atau yang umum disebut dengan istilah 3D printer, teknologi ini merupakan salah satu teknologi yang sangat menjanjikan dimana memungkinkan pembuatan komponen-komponen kompleks berdasarkan model desain dari *Computer Aided Design (CAD)* yang seringkali tidak dapat dicapai dengan cara manufaktur tradisional *subtractive* seperti halnya *CNC* dimana material dilakukan permakanan sehingga menyebabkan pemborosan material. Munculnya 3D printer *opensource* berbiaya rendah telah menyebabkan proliferasi teknologi yang sangat signifikan dalam beberapa tahun terakhir ini. Salah satunya adalah 3D printer yang menggunakan prinsip *Fused Deposition Modelling (FDM)* untuk proses manufaktur, adapun prinsip 3D printer FDM adalah membentuk geometri melalui lapisan demi lapisan filamen termoplastik yang dipanaskan [1]. Mengenai 3D printer FDM, material *Poly lactide acid (PLA)* adalah salah satu material yang paling sering digunakan pada 3D printer FDM adapun PLA merupakan material *biodegradable, non-toxic* dan sifat mekanik yang relatif cukup baik [2].

Selain itu material PLA ini juga memiliki nilai *melting point* yang cukup rendah, diantara 190<sup>0</sup>C sampai 230<sup>0</sup>C [3] dan mengenai teknologi 3D printer FDM saat kita ingin mencetak suatu objek kita dapat mengatur parameter-parameter seperti layer thickness, speed pencetakan,

Adapun struktur infill dalam beberapa tahun terakhir penelitian hanya berfokus pada thickness struktur yang sama di sepanjang objek [4] dan ketika specimen di uji katakanlah pengujian tree point bending maka konsentrasi tegangan akan terjadi pada daerah tengah-tengah specimen dimana konsentrasi tegangan mengindikasikan daerah yang akan terjadi kegagalan terlebih dahulu, sehingga peneliti berhipotesis bahwa dengan memberikan gradient thickness pada infill contoh nya bila infill dibuat sedikit lebih padat pada daerah tengah-tengah jika dibandingkan pada daerah samping specimen maka konsentrasi tegangan mungkin akan berubah yang disebabkan oleh gradient thickness infill. Sehingga keterbaruan dalam penelitian ini adalah peneliti mencoba mengembangkan serta menginvestigasi pengaruh gradient thickness infill dengan struktur square, haneycomb, gyroid dan diamond jika dibandingkan dengan material solid dan tanpa gradient thickness terhadap beban lentur

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan hipotesis pada latar belakang diatas permasalahan yang dapat di tarik adalah

1. Bagaimana membuat material menjadi ringan namun tetap kuat?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian adalah

1. Mengembangkan struktur pengisi (infill) yang meliputi square, haneycomb, gyroid dan diamond dengan gradient thickness dan tanpa gradient thickness

2. Menganalisis pengaruh gradient thickness, tanpa gradient thickness dan padat (solid) terhadap perilaku mekanik seperti flexural modulus

#### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Structure di buat menggunakan perangkat lunak *nTopology*
2. Slicer menggunakan perangkat lunak *Ultimaker Cura 5.1.0*
3. Proses fabrikasi specimen dilakukan menggunakan 3D printer FDM yang di rancang bangun oleh rekan sejawat
4. Pengujian yang dilakukan menggunakan pendekatan experimental pengujian bending.

#### **1.5 Manfaat penelitian**

Adapun manfaat penelitian ini adalah

1. Dapat menjadi acuan dalam pemilihan struktur infill yang terbaik dari sisi kekuatan
2. Dapat menjadi acuan penelitian-penelitian berikutnya dalam mengoptimasi penggunaan biaya dan material fabrikasi

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. E. Trachtenberg, P. M. Mountziaris, J. S. Miller, M. Wettergreen, F. K. Kasper, dan A. G. Mikos, “Open-source three-dimensional printing of biodegradable polymer scaffolds for tissue engineering,” *J. Biomed. Mater. Res. - Part A*, 2014, doi: 10.1002/jbm.a.35108.
- [2] R. A. Mensah *et al.*, “The effect of infill density on the fire properties of polylactic acid 3D printed parts: A short communication,” *Polym. Test.*, vol. 111, no. April, hal. 0–2, 2022, doi: 10.1016/j.polymertesting.2022.107594.
- [3] V. Shanmugam *et al.*, “Polymer Recycling in Additive Manufacturing: an Opportunity for the Circular Economy,” *Mater. Circ. Econ.*, 2020, doi: 10.1007/s42824-020-00012-0.
- [4] M. Fernandez-Vicente, W. Calle, S. Ferrandiz, dan A. Conejero, “Effect of Infill Parameters on Tensile Mechanical Behavior in Desktop 3D Printing,” *3D Print. Addit. Manuf.*, vol. 3, no. 3, hal. 183–192, Sep 2016, doi: 10.1089/3dp.2015.0036.
- [5] M. Q. Tanveer, A. Haleem, dan M. Suhaib, “Effect of variable infill density on mechanical behaviour of 3-D printed PLA specimen: an experimental investigation,” *SN Appl. Sci.*, 2019, doi: 10.1007/s42452-019-1744-1.
- [6] M. J. Martín, J. A. Auñón, dan F. Martín, “Influence of infill pattern on mechanical behavior of polymeric and composites specimens manufactured using fused filament fabrication technology,” *Polymers (Basel)*, 2021, doi: 10.3390/polym13172934.
- [7] L. J. Gibson dan M. F. Ashby, “Cellular Solids\_ Structure and Properties.”

1999.

- [8] O. Al-Ketan, R. Rowshan, dan A. H. Alami, “Biomimetic Materials for Engineering Applications,” in *Encyclopedia of Smart Materials*, A.-G. Olabi, Ed. Oxford: Elsevier, 2022, hal. 25–34. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815732-9.00019-X>.
- [9] Y. Yang *et al.*, “Additive manufacturing of bone scaffolds,” *Int. J. Bioprinting*, vol. 5, no. 1, hal. 1–25, 2019, doi: 10.18063/IJB.v5i1.148.
- [10] C. Yan, L. Hao, A. Hussein, dan D. Raymont, “Evaluations of cellular lattice structures manufactured using selective laser melting,” *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 2012, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2012.06.002.
- [11] T. Maconachie *et al.*, “SLM lattice structures: Properties, performance, applications and challenges,” *Mater. Des.*, vol. 183, hal. 108137, 2019, doi: 10.1016/j.matdes.2019.108137.
- [12] Y. Du *et al.*, “Laser additive manufacturing of bio-inspired lattice structure: Forming quality, microstructure and energy absorption behavior,” *Mater. Sci. Eng. A*, 2020, doi: 10.1016/j.msea.2019.138857.
- [13] L. Han dan S. Che, “An Overview of Materials with Triply Periodic Minimal Surfaces and Related Geometry: From Biological Structures to Self-Assembled Systems,” *Adv. Mater.*, vol. 30, no. 17, hal. 1–22, 2018, doi: 10.1002/adma.201705708.
- [14] M. Murariu dan P. Dubois, “PLA composites: From production to properties,” *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 107. Elsevier B.V., hal. 17–46, 15 Desember 2016. doi: 10.1016/j.addr.2016.04.003.
- [15] F. J. Li, L. C. Tan, S. D. Zhang, dan B. Zhu, “Compatibility, steady and

dynamic rheological behaviors of polylactide/poly(ethylene glycol) blends,” *J. Appl. Polym. Sci.*, 2016, doi: 10.1002/app.42919.

- [16] M. Okamoto dan B. John, “Synthetic biopolymer nanocomposites for tissue engineering scaffolds,” *Progress in Polymer Science*. 2013. doi: 10.1016/j.progpolymsci.2013.06.001.
- [17] S. Saeidlou, M. A. Huneault, H. Li, dan C. B. Park, “Poly(lactic acid) crystallization,” *Progress in Polymer Science*, vol. 37, no. 12. hal. 1657–1677, 2012. doi: 10.1016/j.progpolymsci.2012.07.005.
- [18] ASTM INTERNATIONAL, “Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. D790,” *Annu. B. ASTM Stand.*, vol. i, hal. 1–12, 2002, doi: 10.1520/D0790-17.2.
- [19] A. A. Soufivand, N. Abolfathi, S. A. Hashemi, dan S. J. Lee, “Prediction of mechanical behavior of 3D bioprinted tissue-engineered scaffolds using finite element method (FEM) analysis,” *Addit. Manuf.*, vol. 33, no. February, 2020, doi: 10.1016/j.addma.2020.101181.