



**LAPORAN SKRIPSI**

**DESAIN MANUFACTUR DAN ANALISA  
MICROARSITEKTUR *BONE SCAFFOLD* BERBASIS  
*TRIPLY PERIODIC MINIMAL SURFACES (TPMS)*  
DENGAN METODE *FUSED DEPOSITION MODELLING*  
(*FDM*)**

**MUHAMMAD LUTFI YAHYA  
NIM. 201854057**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Rochmad Winarso,S.T.,M.T**

**Qomaruddin,S.T.,M.T**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MURIA KUDUS  
FEBUARI 2023**

## HALAMAN PERSETUJUAN

**DESAIN MANUFACTUR DAN ANALISA MICROARSITEKTUR  
BONE SCAFFOLD BERBASIS *TRIPLY PERIODIC MINIMAL  
SURFACES (TPMS)* DENGAN METODE *FUSED DEPOSITION  
MODELLING (FDM)***

**MUHAMMAD LUTFI YAHYA**


**NIM. 201854057**

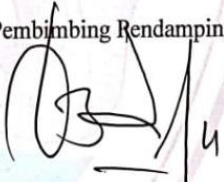
Kudus, 23 Febuari 2023

Menyetujui,

Pembimbing Utama,


Pembimbing Rendamping.

  
Rochmad Winatso, S.T., M.T  
NIDN. 0612037201

  
Qomaruddin, S.T., M.T  
NIDN. 0626097102

Mengetahui,

Koordinator Skripsi/Tugas akhir

  
Ratri Rahmawati, S.T., M.Sc  
NIDN. 0613049403

Q

## HALAMAN PENGESAHAN

**DESAIN MANUFACTUR DAN ANALISA MICROARSITEKTUR  
BONE SCAFFOLD BERBASIS TRIPLY PERIODIC MINIMAL  
SURFACES (TPMS) DENGAN METODE FUSED DEPOSITION  
MODELLING (FDM)**

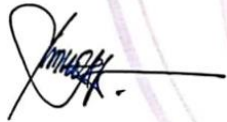
**MUHAMMAD LUTFI YAHYA**

**NIM. 201854057**

Kudus, 23 Febuari 2023

Menyetujui,

Ketua Penguji,



Dr. Sugeng Slamet, S.T., M.T  
NIDN. 0622067101

Anggota Penguji I,



Rianto Wibowo, S.T., M.Eng  
NIDN. 0630037301

Anggota Penguji II,



Rochmad Winarso, S.T., M.T  
NIDN. 0612037201

Mengetahui,



Fakultas Teknik  
Dr. Akhmad Zidni Hudaya, S.T., M.T  
NIP. 0670701000001141

Ketua Program Studi Teknik Mesin



Dr. Akhmad Zidni Hudaya, S.T., M.Eng  
NIP. 19730821005011001

iii

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Lutfi Yahya  
NIM : 201854057  
Tempat & Tanggal Lahir : Kudus, 18 Juni 2000  
Judul Skripsi/Tugas Akhir : Desain Manufactur dan Analisa Microarsitektur *Bone Scaffold* Berbasis *Triply Periodic Minimal Surfaces (TPMS)* Dengan Metode *Fused Deposition Modelling (FDM)*.

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Skripsi/Tugas Akhir ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan lain yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Seluruh ide, pendapat, atau materi dari sumber lain telah dikutip dalam Skripsi dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muria Kudus.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Kudus, 23 Febuari 2023

Yang memberi pernyataan,



Muhammad Lutfi Yahya  
NIM. 201854057

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan kasih dan sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Desain Manufactur dan Analisa Microarsitektur *Bone Scaffold* Berbasis *Triply Periodic Minimal Surfaces* (TPMS) Dengan Metode *Fused Deposition Modelling* (FDM)**”.

Pelaksanaan tugas akhir ini tak lepas dari bantuan dan dukungan beberapa pihak, untuk itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. ALLAH SWT atas limpahan karunia rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orangtua saya atas do'a dan semangat serta motivasi yang telah diberikan kepada saya.
3. Pembimbing tugas akhir, Bapak Rochmad Winarso, S.T.,M.T dan Bapak Qomaruddin, S.T.,M.T yang memberikan bimbingan, arahan, dan nasehat dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Tim penguji tugas akhir, Bapak Dr. Sugeng Slamet, S.T.,M.T dan Bapak Rianto Wibowo, ST.,M.Eng. yang telah banyak membantu dalam memberi pengarahan dan bimbingan untuk mencapai penulisan tugas akhir yang lebih baik.
5. Koordinator tugas akhir ibu Ratri Rahmawati, S.T.,M.Sc. serta seluruh staf pengajar teknik mesin Universitas Muria Kudus, dan staf laboratorium atas pembelajaran dan bimbingan yang telah diberikan selama proses perkuliahan.
6. Kelompok tugas akhir yang telah membantu dan memberi semangat kepada saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Teman-teman seperjuangan yang telah membantu dan memberi semangat dalam menyusun tugas akhir ini.

Penulis menyadari adanya kekurangan dan ketidaksempurnaan dalam penulisan tugas akhir ini, karena itu penulis menerima kritik, saran dan masukan dari pembaca sehingga penulis dapat lebih baik di masa yang akan datang. Akhirnya penulis berharap semoga buku tesis ini bisa bermanfaat khususnya bagi penulis dan umumnya bagi para pembaca.



**DESAIN MANUFACTUR DAN ANALISA MICROARSITEKTUR *BONE SCAFFOLD* BERBASIS *TRIPLY PERIODIC MINIMAL SURFACES* (TPMS) DENGAN METODE *FUSED DEPOSITION MODELLING* (FDM)**

Nama mahasiswa : Muhammad Lutfi Yahya  
NIM : 201854057  
Pembimbing : 1. Rochmad Winarso, S.T.,M.T  
2. Qomaruddin,S.T.,M.T

**RINGKASAN**

Korban kecelakaan lalu lintas dapat mengalami patah tulang, kelainan bentuk tulang, atau bahkan kematian akibat luka yang dideritanya. Pasien yang terluka akibat patah tulang dapat pulih melalui perbaikan tulang, yang melibatkan memasukkan tulang buatan ke dalam jaringan tulang yang rusak. Pembuatan *Scaffold* berbahan biomaterial hidroksiapatit (HA) merupakan salah satu metode implantasi. 3D Printing digunakan untuk mencetak perancah tulang yang dirancang berdasarkan ukuran tulang yang rusak. Dalam aplikasi biomedis, struktur logam berpori telah muncul sebagai pilihan yang menjanjikan untuk memperbaiki dan mengganti tulang yang rusak. Arsitektur perancah berpori yang dibuat dengan berbagai tipe sel unit dan parameter yang diinginkan kini dapat mereplikasi sifat biomekanik tulang alami, mengatasi masalah seperti efek perlindungan stress dan mencegah kegagalan implant berkat teknologi manufaktur aditif. Rancangan *Bone Scaffold* untuk implantasi tulang yang rusak akibat kecelakaan menjadi tujuan penelitian ini.

Metode yang digunakan berdasarkan survey terhadap pasien patah tulang dari internet dan sumber lain yang mengalami kesulitan dalam melakukan implantasi tulang.

Pembuatan specimen *Bone Scaffold* berbasis *Triply Periodic Minimal Surfaces* (TPMS) sebagai alat bantu medis untuk penanganan cedera patah tulang dengan metode implant tulang merupakan hasil dari tugas akhir ini.

**Kata Kunci** : *Implantasi Tulang, Bone Scaffold, 3D Printing.*

**MANUFACTURING DESIGN AND MICROARCHITECTURE ANALYSIS  
OF BONE SCAFFOLD BASED ON TRIPLY PERIODIC MINIMAL  
SURFACES (TPMS) WITH FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)  
METHOD**

*Student Name* : Muhammad Lutfi Yahya  
*Student Identity Number* : 201854057  
*Supervisor* : 1. Rochmad Winarso,S.T.,M.T  
2. Qomaruddin,S.T.,M.T

***ABSTRACT***

*Victims of traffic accidents can experience broken bones, bone deformities, or even death as a result of their injuries. Patients injured by bone can recover through bone repair, which involves inserting artificial bone into damaged bone tissue. Making scaffolds made from hydroxiapatite (HA) biomaterial is one of the implantation methods. 3D Printing is used to print bone scaffold that are designed based on the size of the damaged bone. In biomedical applications, porous metal structure have emerged as a promising option for repairing and replacing damaged bone. Porous scaffold architectures fabricated with various unit cell types and desired parameters can now replicate the biomechanical properties of natural bone, adressing issues such as stress protective effects and preventing implant failure thanks to additive manufacturing technologies. The design of the Bone Scaffold for bone implantation damaged by accidents is the aim of this study.*

*The method used is based on a survey of fracture patients from the internet and others sources who experience difficulty in bone implantation.*

*Making Bone Scaffold specimen based on Triply Periodic Minimal Surfaces (TPMS) as a medical aid for the treatment of fracture injuries using the bone implant method is the result of this final project.*

***Keywords:*** *Bone Implantation, Bone Scaffold, 3D Printing.*



# DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	
HALAMAN PERSETUJUAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
RINGKASAN.....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	3
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan .....	4
1.5. Sistematika penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Tulang Manusia .....	5
<u>2.1.1</u> Pengertian Tulang Manusia .....	5
<u>2.1.2</u> Sifat Fisis dan Sifat Mekanis Tulang .....	5
<u>2.1.3</u> Patah Tulang (Fraktur) .....	6
<u>2.1.4</u> Implan Tulang .....	9
2.2 <i>Bone Scaffold</i> (Perancah Tulang) .....	11
<u>2.2.1</u> Pengertian <i>Bone Scaffold</i> (Perancah Tulang) .....	11
<u>2.2.2</u> Biomaterial .....	11
2.3 Material Buatan Untuk Perancah Tulang.....	14
2.4 Polylactic Acid (PLA).....	16
<u>2.4.1</u> Pengertian PLA .....	16
<u>2.4.2</u> Filament esun PLA+ .....	18
2.5 3D Printing .....	19
<u>2.5.1</u> Aplikasi 3D Printing pada fabrikasi Perancah.....	19
<u>2.5.2</u> Cara Kerja Mesin 3D Printing dan parameter yang mempengaruhi.....	20

2.5.3	Metode Aditif Manufaktur .....	20
2.6	Fused Deposition Modelling (FDM) .....	21
2.7	Konsep Desain Perancah Tulang .....	22
2.7.1	Desain Parametrik .....	22
2.7.2	Triply Periodic Minimal Surfaces (TPMS) .....	23
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI .....</b>	<b>25</b>
3.1.	Diagram Alur Penelitian .....	25
3.2.	Waktu dan Tempat Penelitian .....	26
3.3.	Alat dan Bahan Penelitian .....	26
3.4.	Perancangan Desain Dan Spesifikasi <i>Bone Scaffold</i> .....	30
3.5.	Variabel Penelitian.....	31
3.5.1	Variabel Bebas .....	31
3.5.2	Variabel Terikat .....	32
3.5.3	Variabel Kontrol .....	33
3.6.	Langkah mendesain specimen <i>Bone Scaffold</i> dengan porositas dan pore size yang telah ditentukan .....	34
3.7.	Langkah mencetak desain menggunakan 3D Printing .....	36
3.8.	Prosedur pengujian Tekan.....	38
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>39</b>
4.1.	Hasil Desain <i>Bone Scaffold</i> .....	39
4.2.	Hasil Perhitungan Porositas Desain Primitive.....	42
4.3.	Data Hasil 3D Printing .....	43
4.3.1	Hasil pengukuran panjang specimen (X) .....	43
4.3.2	Hasil pengukuran lebar specimen (Y) .....	44
4.3.3	Hasil pengukuran tinggi specimen (Z) .....	45
4.4	Hasil Uji Image Processing .....	46
4.4.1	Data hasil uji Image Processing .....	46
4.4.2	Gambar hasil uji Image Processing .....	46
4.5	Hasil Uji Tekan.....	48
4.5.1	Hasil uji <i>Load and Displacement</i> .....	48
4.5.2	Hasil Uji <i>Stress Strain</i> .....	49
4.5.3	Hasil Uji <i>Compressive Strength</i> .....	50
4.5.4	Hasil <i>Modulus Elastisitas</i> .....	51
4.5.5	Hasil <i>Elongasi</i> .....	52
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>53</b>
5.1.	Kesimpulan.....	53

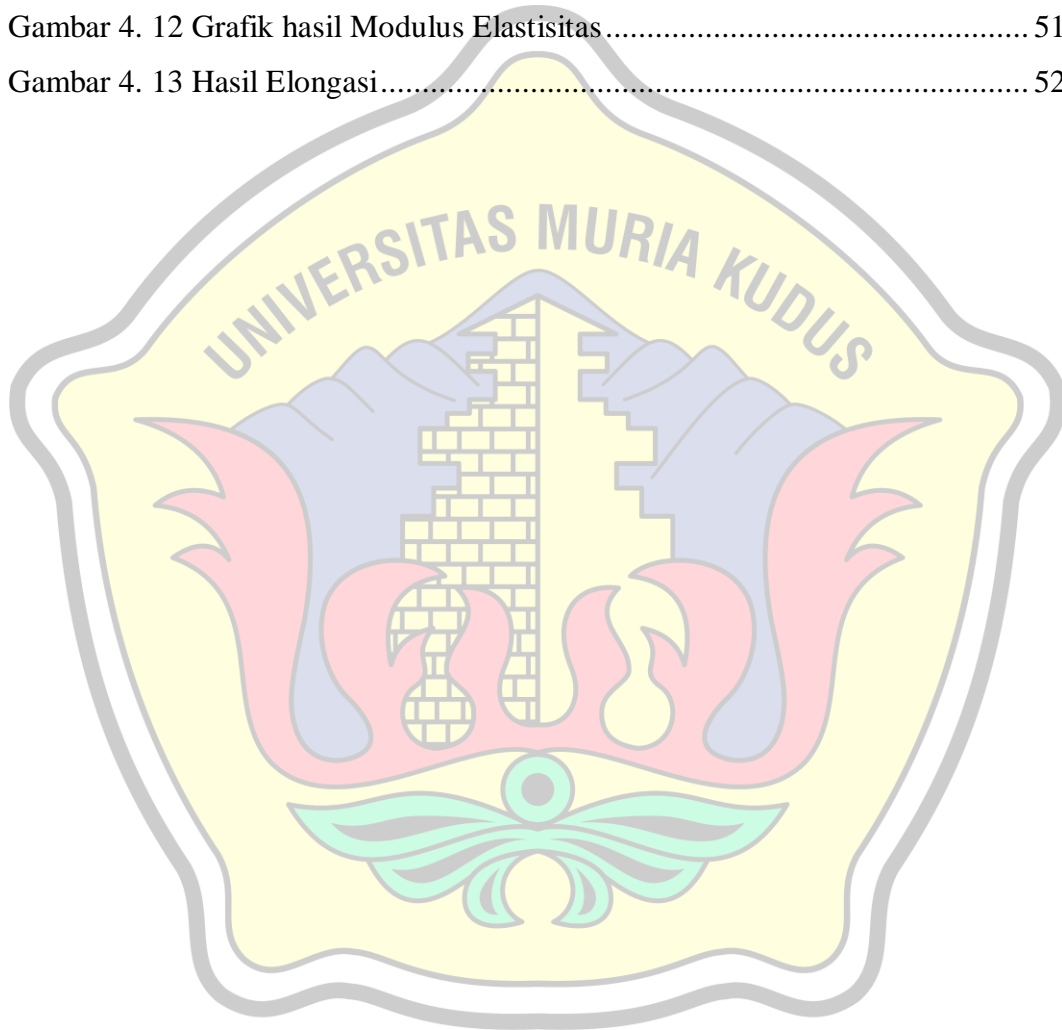
5.2. Saran.....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>54</b>
<b>5. LAMPIRAN 1.....</b>	<b>56</b>
<b>6. LAMPIRAN 2.....</b>	<b>68</b>
<b>7. LAMPIRAN.....</b>	<b>69</b>
<b>8. BIODATA PENULIS.....</b>	<b>70</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 2 Pemasangan Implan Tulang .....	7
Gambar 2. 3 Filament PLA+ type esun .....	19
Gambar 2. 4 mesin 3d printer dengan sistem fused deposition modeling (FDM) .....	22
Gambar 2. 5 Desain TPMS jenis Primitive Schwars Structure .....	24
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian .....	25
Gambar 3. 2. Laptop Acer Aspire 3 .....	26
Gambar 3. 3 Mesin 3D Printing FDM .....	27
Gambar 3. 4 Mesin Uji Tekan Universal Testing Machine .....	27
Gambar 3. 5 <i>Software</i> PTC Creo Parametric Student 8.0 .....	27
Gambar 3. 6 <i>Software Slicer Ultimaker Cura 5.2.1</i> .....	28
Gambar 3. 7 <i>Software ImageJ</i> .....	28
Gambar 3. 8 Jangka Sorong .....	28
Gambar 3. 9 Timbangan Digital .....	29
Gambar 3. 10 <i>Filament Polylactic Acid (PLA)</i> .....	29
Gambar 3. 11 Desain <i>Bone Scaffold</i> jenis <i>Schwars Primitive Structure</i> .....	30
Gambar 3. 12 Desain specimen <i>Bone Scaffold</i> .....	34
Gambar 3. 13 mengidentifikasi volume specimen .....	34
Gambar 3. 14 menentukan porositas Desain .....	35
Gambar 3. 15 Menentukan Pore Size .....	35
Gambar 3. 16 menentukan skala ukuran .....	35
Gambar 3. 17 Hasil Pore Size.....	36
Gambar 3. 18 Desain specimen .....	36
Gambar 3. 19 <i>software ultimaker cura</i> .....	37
Gambar 3. 20 pemasangan filament PLA .....	37
Gambar 4. 1 desain Primitive 3.175 mm.....	39
Gambar 4. 2 desain Primitive 2.54 mm .....	40
Gambar 4. 3 desain Primitive 2.12 mm .....	41
Gambar 4. 4 desain Primitive 1.8 mm .....	41

Gambar 4. 5 hasil uji image processing primitive 3.175 mm .....	46
Gambar 4. 6 uji image processing primitive 2.54 mm.....	47
Gambar 4. 7 uji image processing primitive 2.12 mm.....	47
Gambar 4. 8 uji image processing primitive 1.8 mm.....	47
Gambar 4. 9 Grafik uji Load and Displacement.....	48
Gambar 4. 10 Grafik Uji Stress Strain .....	49
Gambar 4. 11 Grafik hasil uji Compressive Strength.....	50
Gambar 4. 12 Grafik hasil Modulus Elastisitas.....	51
Gambar 4. 13 Hasil Elongasi.....	52

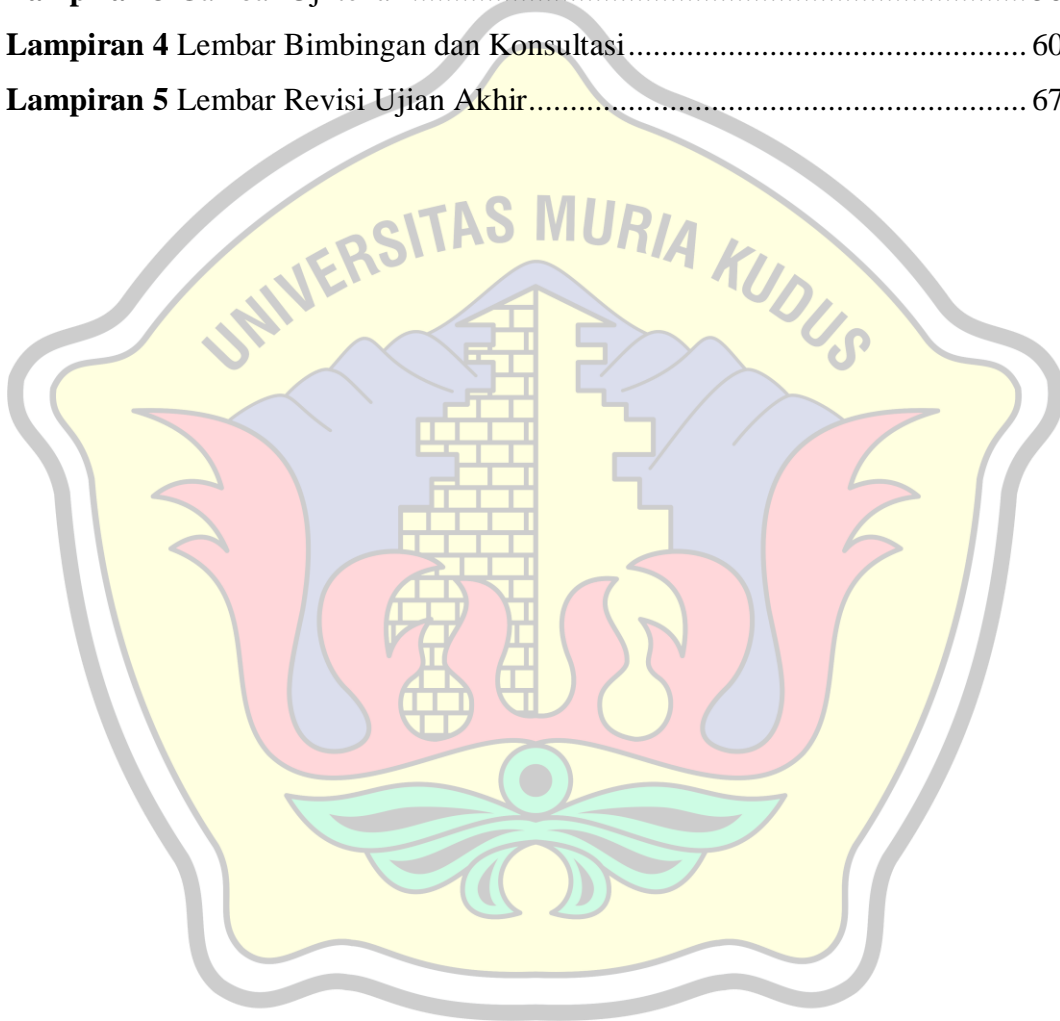


## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat mekanis tulang dapat dilihat pada tabel dibawah: .....	6
Tabel 2. 2 Jenis Biomaterial dibidang kedokteran (Sukmana <i>et al.</i> , 2022) .....	12
Tabel 2. 3 Sifat-sifat mekanik dari material logam .....	13
Tabel 2. 4 Sifat Mekanik Material Polimer (Smallman, 2007) .....	13
Tabel 2. 5 Penggunaan Keramik untuk Aplikasi Biomedis (Abdul Malik, 2012) .....	14
Tabel 2. 6 Sifat Kimia dan Fisika PLA (Hutajulu, 2017). .....	16
Tabel 2. 7 Spesifikasi <i>Filament Esun PLA+</i> .....	19
Tabel 3. 1 Nilai Variasi Desain .....	31
Tabel 3. 2 Struktural Propertis.....	32
Tabel 3. 3 Mekanika Propertis.....	33
Tabel 3. 4 Parameter Proses .....	33
Tabel 4. 1 spesifikasi desain primitive 3.175 mm .....	39
Tabel 4. 2 spesifikasi desain Primitive 2.54 mm .....	40
Tabel 4. 3 spesifikasi desain Primitive 2.12 mm.....	40
Tabel 4. 4 spesifikasi desain primitive 1.8 mm .....	41
Tabel 4. 5 Hasil perhitungan porositas .....	42
Tabel 4. 6 Data hasil pengukuran panjang (X).....	43
Tabel 4. 7 Data Hasil pengukuran lebar (Y) .....	44
Tabel 4. 8 Data hasil pengukuran tinggi (Z) .....	45
Tabel 4. 9 Data hasil pore size specimen .....	46

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Gambar Hasil Desain <i>Bone Scaffold</i> model <i>Primitive Schwars Structure</i> .....	56
<b>Lampiran 2</b> Gambar Hasil printing <i>Bone Scaffold</i> model <i>Primitive Schwars Structure</i> .....	57
<b>Lampiran 3</b> Gambar Uji tekan .....	58
<b>Lampiran 4</b> Lembar Bimbingan dan Konsultasi .....	60
<b>Lampiran 5</b> Lembar Revisi Ujian Akhir .....	67



## DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

TPMS	: <i>Triply Periodic Minimal Surfaces</i>
FDM	: <i>Fused Deposition Modelling</i>
AM	: <i>Additive Manufacture</i>
PLA	: <i>Polylactic Acid</i>
HA	: <i>Hydroxyapatite</i>
CAD	: <i>Computer Aided Design</i>
SLS	: <i>Sintering Lase Selective</i>
STL	: <i>Stereolithography</i>
TE	: <i>Tissue Engineering</i>

