



LAPORAN SKRIPSI

**DESAIN MANUFAKTUR *IRREGULAR POROUS SCAFFOLD*
UNTUK *BONE IMPLANT* MENGGUNAKAN METODE *FUSED
DEPOSITION MODELING (FDM)***

**FEBRIAN DWI PRASETYO
NIM. 201854103**

**DOSEN PEMBIMBING
Rochmad Winarso, S.T., M.T.
Qomaruddin, S.T., M.T.**

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MURIA KUDUS

2023

HALAMAN PERSETUJUAN

DESAIN MANUFAKTUR *IRREGULAR POROUS SCAFFOLD* UNTUK *BONE IMPLANT* MENGGUNAKAN METODE *FUSED* *DEPOSITION MODELING (FDM)*

FEBRIAN DWI PRASETYO

NIM. 201854103

Kudus, 12 Agustus 2023

Menyetujui,

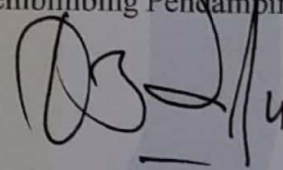
Pembimbing Utama,



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

NIDN. 0612037201

Pembimbing Pendamping,



Qomaruddin, S.T., M.T.

NIDN. 0626097102

HALAMAN PENGESAHAN

DESAIN MANUFAKTUR *IRREGULAR POROUS SCAFFOLD* UNTUK *BONE IMPLANT* MENGGUNAKAN METODE *FUSED* *DEPOSITION MODELING (FDM)*

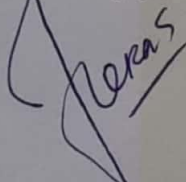
FEBRIAN DWI PRASETYO

NIM. 201854103

Kudus, 28 Agustus 2023

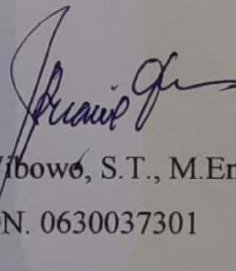
Menyetujui,

Ketua Penguji,



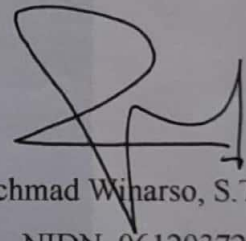
Hera Setiawan, S.T., M.T.
NIDN. 0611066901

Anggota Penguji I,



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

Anggota Penguji II,



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

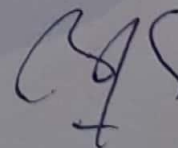
Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik



Mohammad Dahlan, S.T., M.T.
NIS. 0610701000001141

Ketua Program Studi Teknik Mesin



Dr. Akhmad Zidni Hudaya, S.T., M.Eng.
NIP. 197308212005011001

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Febrian Dwi Prasetyo
NIM : 201854103
Tempat & Tanggal Lahir : Pati, 24 Februari 2001
Judul Skripsi : Desain Manufaktur *Irregular Porous Scaffold*
Untuk *Bone Implant* Menggunakan Metode
Fused Deposition Modeling (FDM)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Skripsi 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, 12 Agustus 2023
Yang memberi pernyataan,



Febrian Dwi Prasetyo
NIM. 201854103

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran ALLAH SWT atas karunia dan nikmat-Nya. Salah satu nikmat tersebut adalah penulis dapat menyusun dan menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul “**DESAIN MANUFAKTUR IRREGULAR POROUS SCAFFOLD UNTUK BONE IMPLANT MENGGUNAKAN METODE FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)**”.

Penyusunan Skripsi ini ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus.

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

1. Allah SWT yang senantiasa mencurahkan rahmat, anugerah dan kerunia kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan skripsi ini.
2. Kedua orang tua ibu dan bapak tercinta yang selalu memberikan do'a, kasih sayang, dukungan, motivasi, serta seluruh hal baik selama penulis menyusun laporan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Akhmad Zidni Hudaya, S.T., M.Eng. sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muria Kudus.
4. Bapak Rochmad Winarso, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing utama yang telah memberi banyak arahan dan motivasi kepada penulis.
5. Bapak Qomaruddin, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan banyak masukan tambahan kepada penulis.
6. Bapak Hera Setiawan, S.T., M.T. sebagai ketua penguji yang telah memberikan masukan dan membantu dalam pemahaman pada laporan skripsi ini.
7. Bapak Riyanto Wibowo, S.T., M.Eng. sebagai anggota penguji yang telah memberi masukan pada laporan skripsi ini.

8. Dosen-dosen jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Muria Kudus.
9. Teman-teman Teknik Mesin Unuversitas Muria Kudus atas kebaikan, persahabatan dan keluarganya.

Penulis menyadari adanya kekurangan dan ketidaksempurnaan dalam penulisan skripsi 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 laporan skripsi ini bisa bermanfaat khususnya bagi penulis dan umumnya bagi para pembaca.

Kudus, 12 Agustus 2023

Penulis

DESAIN MANUFAKTUR *IRREGULAR POROUS SCAFFOLD* UNTUK *BONE IMPLANT* MENGGUNAKAN METODE *FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)*

Nama mahasiswa : Febrian Dwi Prasetyo

NIM : 201854103

Pembimbing :

1. Rochmad Winarso, S.T., M.T.

2. Qomaruddin, S.T., M.T.

RINGKASAN

Patah tulang merupakan peristiwa yang sering ditemui ketika terjadi kecelakaan lalu lintas, bencana alam, penyakit, kecelakaan olahraga dan lain sebagainya. Kasus patah tulang tertinggi pada ekstremitas bawah, sebesar 39% kasus terjadi pada tulang femur, diikuti 11% pada tulang tibia dan fibula. Tulang umumnya memiliki kemampuan untuk regenerasi secara penuh, akan tetapi hanya berlaku pada kerusakan yang berukuran kecil. Berbagai alternatif penyembuhan tulang dapat diaplikasikan seperti *autograft*, *allograft*, dan *xenograft*. Penyembuhan dengan transplantasi tulang menggunakan metode *tissue engineering* (rekayasa jaringan) menjadi alternatif dari perawatan konvensional. Pencetakan 3D yang juga dikenal sebagai manufaktur aditif, telah muncul sebagai terobosan terbaru untuk membuat perancah rekayasa jaringan tulang dengan struktur yang terdefinisi dengan baik dan mudah direproduksi. Permasalahan yang dihadapi adalah bagaimana mendesain *irregular porous scaffold* untuk implantasi jaringan tulang agar dapat memperoleh hasil yang maksimal. Tujuan penelitian ini adalah didapatkannya desain, hasil manufaktur dan hasil data pengujian *irregular porous scaffold* dari bahan *polylactic acid* (PLA) dengan porositas 60% dan *pore size* antara 100 – 1.600 μm yang digunakan untuk rekayasa jaringan tulang. Metode penelitian yang digunakan adalah dimulai dari literatur review, mendesain *irregular porous scaffold*, proses manufaktur, proses pengujian, pengambilan data, analisa data, pembahasan dan kesimpulan. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa porositas desain voronoi unit sel 2,5 mm sebesar 60,01%, 3 mm sebesar 60,02%, 3,5 mm sebesar 60,22% dan 4 mm sebesar 60,05%, porositas *printing* voronoi unit sel 2,5 mm sebesar 60,44%, 3 mm sebesar 59,03%, 3,5 mm sebesar 59,81% dan 4 mm sebesar 62,12%, *pore size printing* voronoi unit sel 2,5 sebesar 388 μm , 3 mm sebesar 639 μm , 3,5 mm sebesar 731 μm dan 4 mm sebesar 1.064 μm , *compressive strength* voronoi unit sel 2,5 mm sebesar 5.31 N/mm², 3 mm sebesar 7.21 N/mm², 3,5 mm sebesar 7.64 N/mm² dan 4 mm sebesar 6.74 N/mm² dan modulus elastisitas voronoi unit sel 2,5 mm sebesar 130.56 N/mm², 3 mm sebesar 176.35 N/mm², 3,5 mm sebesar 218.63 N/mm² dan 4 mm sebesar 203.08 N/mm².

Kata kunci : Tulang, Rekayasa Jaringan, Pencetakan 3D

**MANUFACTURING DESIGN OF IRREGULAR POROUS SCAFFOLD FOR
BONE IMPLANT USING FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)
METHOD**

Student Name : Febrian Dwi Prasetyo

Student Identity Number : 201854103

Supervisor :

1. Rochmad Winarso, S.T., M.T.

2. Qomaruddin, S.T., M.T.

ABSTRACT

Broken bones are common occurrence in traffic accidents, natural disasters, diseases, sports accidents and so on. The highest cases of fractures were in the lower extremities, 39% of cases occurred in the femur, followed by 11% in the tibia and fibula. Bone generally has the ability to fully regenerate, but this only applies to minor damage. Various bone healing alternatives can be applied such as autograft, allograft, and xenograft. Healing with bone transplantation using the tissue engineering method is an alternative to conventional treatment. 3D printing also known as additive manufacturing, has emerged as a recent breakthrough for fabricating bone tissue engineered scaffolds with well-defined structures that are easy to reproduce. The problem faced is how to design an irregular porous scaffold for bone tissue implants in order to obtain maximum results. The purpose of this research is to obtain design, manufacturing results and test data results of irregular porous scaffolds made of polylactic acid (PLA) with a porosity of 60% and a pore size of 100 – 1,600 μm which is used for bone tissue engineering. The research method used is starting from literature review, designing irregular porous scaffolds, manufacturing process, testing process, data collection, data analysis, discussion and conclusions. The results of this study found that the porosity of the voronoi unit cell design was 2.5 mm at 60.01%, 3 mm at 60.02%, 3.5 mm at 60.22% and 4 mm at 60.05%, printing voronoi porosity unit cell 2.5 mm by 60.44%, 3 mm by 59.03%, 3.5 mm by 59.81% and 4 mm by 62.12%, pore size printing voronoi unit cell 2.5 by 388 μm , 3 mm at 639 μm , 3.5 mm at 731 μm and 4 mm at 1.064 μm , compressive strength voronoi unit cell 2.5 mm at 5.31 N/mm², 3 mm at 7.21 N/mm², 3.5 mm at 7.64 N/mm² and 4 mm of 6.74 N/mm² and modulus elasticity of the voronoi unit cell 2.5 mm of 130.56 N/mm², 3 mm of 176.35 N/mm², 3.5 mm of 218.63 N/mm² and 4 mm of 203.08 N/mm².

Keywords : Bone, Tissue Engineering, 3D Printing

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
RINGKASAN	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SIMBOL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Manufaktur Aditif.....	5
2.1.1. Pengertian Manufaktur Aditif	5
2.1.2. 3D <i>Printing</i>	5
2.1.3. Sistem Kerja 3D <i>Printing</i>	5
2.1.4. Metode <i>Fused Deposition Modeling</i> (FDM)	6
2.2. Tulang.....	7
2.3. Perancah (<i>Scaffold</i>).....	8
2.4. Rekayasa Jaringan Perancah Tulang	8
2.5. <i>Bonegraft</i>	9
2.6. Desain <i>Scaffold</i>	9
2.6.1. Desain Parametrik	10
2.7. Biomaterial	11
2.7.1. <i>Polylactic Acid</i> (PLA).....	12
2.7.2. <i>Poly(e-caprolactone)</i> (PCL).....	13
2.7.3. <i>Poly(glycolic Acid)</i> (PLGA).....	13
2.8. <i>Filament Esun PLA+</i>	13
BAB III METODOLOGI.....	15
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	15
3.2. Variabel Penelitian	16
3.2.1. Variabel Kontrol.....	16
3.2.2. Variabel Terikat	16
3.2.3. Variabel Bebas	16
3.3. Desain <i>Irregular Porous Scaffold</i>	17
3.4. Persiapan Proses Manufaktur	19
3.4.1. Bahan Penelitian.....	19
3.4.2. Alat Penelitian.....	19

3.5.	Mencari Porositas	22
3.6.	Proses Manufaktur.....	25
3.7.	Mencari <i>Pore Size</i>	27
3.8.	Prosedur Proses Pengujian Tekan	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		32
4.1.	Hasil 3D <i>Printing</i> Desain <i>Irregular Porous Scaffold</i>	32
4.2.	Hasil Struktural Propertis <i>Irregular Porous Scaffold</i>	33
4.2.1.	Hasil Perhitungan Porositas	33
4.2.2.	Hasil Pengukuran Panjang (X).....	35
4.2.3.	Hasil Pengukuran Lebar (Y)	36
4.2.4.	Hasil Pengukuran Tinggi (Z)	38
4.2.5.	Hasil Uji <i>Image Processing</i>	39
4.3.	Hasil Mekanika Propertis <i>Irregular Porous Scaffold</i>	41
4.3.1.	Hasil Pengujian Tekan Spesimen Voronoi Unit Sel 2,5 mm.....	42
4.3.2.	Hasil Pengujian Tekan Spesimen Voronoi Unit Sel 3 mm.....	43
4.3.3.	Hasil Pengujian Tekan Spesimen Voronoi Unit Sel 3,5 mm.....	44
4.3.4.	Hasil Pengujian Tekan Spesimen Voronoi Unit Sel 4 mm.....	45
4.4.	Pembahasan	46
4.4.1.	Tabel Hasil Pengujian	46
BAB V PENUTUP.....		48
5.1.	Kesimpulan.....	48
5.2.	Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA		50
LAMPIRAN 1		54
LAMPIRAN 2		56
LAMPIRAN 3		57
LAMPIRAN 4		58
LAMPIRAN 5		60
LAMPIRAN 6		62
LAMPIRAN 7		68
LAMPIRAN 8		71
BIODATA PENULIS		72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema proses <i>Fused Deposition Modelling</i> /FDM	7
Gambar 2.2 Unit Voronoi.	11
Gambar 2.3 <i>Filament Esun PLA+</i>	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	15
Gambar 3.2 Desain Spesimen Perancah Tulang	19
Gambar 3.3 <i>Filament Esun PLA+</i>	19
Gambar 3.4 Mesin 3D <i>Printing Ender-3 S1</i>	20
Gambar 3.5 Mesin <i>Universal Testing Machine</i>	20
Gambar 3.6 Laptop HP 4s-dk0115AU	20
Gambar 3.7 <i>Software PTC Creo Parametric</i>	21
Gambar 3.8 <i>Slicer Ultimaker Cura</i>	21
Gambar 3.9 <i>Software ImageJ</i>	21
Gambar 3.10 Jangka Sorong Digital	21
Gambar 3.11 Timbangan Digital	22
Gambar 3.12 Kamera <i>Handphone</i>	22
Gambar 3.13 Desain Spesimen Perancah Tulang	23
Gambar 3.14 Mengubah Material Menjadi PLA	24
Gambar 3.15 Identifikasi <i>Massa</i> Spesimen.....	24
Gambar 3.16 Menghitung Porositas Desain.....	25
Gambar 3.17 Mendesain Menggunakan CAD	25
Gambar 3.18 Pengaturan Dalam <i>Software Slicer Ultimaker Cura</i>	25
Gambar 3.19 Pemasangan Filamen.....	26
Gambar 3.20 Memasukkan Memori	26
Gambar 3.21 Proses <i>Printing</i> Spesimen.....	26
Gambar 3.22 Memasukkan Gambar Spesimen ke <i>Software ImageJ</i>	27
Gambar 3.23 Skala Ukuran	28
Gambar 3.24 Mengubah <i>Image Type</i>	28
Gambar 3.25 Mengatur <i>Threshold</i>	29
Gambar 3.26 <i>Set Measurements</i>	29
Gambar 3.27 Hasil <i>Pore Size</i>	30
Gambar 4.1 Hasil <i>Printing</i>	32
Gambar 4.2 Grafik Porositas.....	34
Gambar 4.3 Grafik Pengukuran Panjang	36
Gambar 4.4 Grafik Pengukuran Lebar	37
Gambar 4.5 Grafik Pengukuran Tinggi.....	39
Gambar 4.6 Hasil Pengukuran <i>Pore Size</i> Voronoi Unit Sel 2,5 mm	39
Gambar 4.7 Hasil Pengukuran <i>Pore Size</i> Voronoi Unit Sel 3 mm	40
Gambar 4.8 Hasil Pengukuran <i>Pore Size</i> Voronoi Unit Sel 3,5 mm	40
Gambar 4.9 Hasil Pengukuran <i>Pore Size</i> Voronoi Unit Sel 4 mm	40
Gambar 4.10 Grafik <i>Pore Size</i>	41
Gambar 4.11 Pengujian Tekan Spesimen Voronoi Unit Sel 2,5 mm.....	42
Gambar 4.12 Grafik Tegangan Regangan Uji Tekan Voronoi Unit Sel 2,5 mm..	42
Gambar 4.13 Pengujian Tekan Spesimen Voronoi Unit Sel 3 mm.....	43
Gambar 4.14 Grafik Tegangan Regangan Uji Tekan Voronoi Unit Sel 3 mm....	43
Gambar 4.15 Pengujian Tekan Spesimen Voronoi Unit Sel 3,5 mm.....	44

Gambar 4.16 Grafik Tegangan Regangan Uji Tekan Voronoi Unit Sel 3,5 mm..44
Gambar 4.17 Pengujian Tekan Spesimen Voronoi Unit Sel 4 mm.....45
Gambar 4.18 Grafik Tegangan Regangan Uji Tekan Voronoi Unit Sel 4 mm.....45



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisik PLA.....	12
Tabel 2.2 Spesifikasi <i>Filament Esun PLA+</i>	14
Tabel 3.1 Nilai Variabel Kontrol	16
Tabel 3.2 Nilai Variabel Terikat	16
Tabel 3.3 Nilai Variabel Bebas	17
Tabel 4.1 Waktu Proses <i>Printing</i>	33
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Porositas	33
Tabel 4.3 Data Hasil Pengukuran Panjang (X)	35
Tabel 4.4 Data Hasil Pengukuran Lebar (Y).....	36
Tabel 4.5 Data Hasil Pengukuran Tinggi (Z).....	38
Tabel 4.6 Data Hasil <i>Pore Size Printing</i>	41
Tabel 4.7 Data Pengujian Tekan Voronoi Unit Sel 2,5 mm	42
Tabel 4.8 Data Pengujian Tekan Voronoi Unit Sel 3 mm	43
Tabel 4.9 Data Pengujian Tekan Voronoi Unit Sel 3,5 mm	44
Tabel 4.10 Data Pengujian Tekan Voronoi Unit Sel 4 mm	45
Tabel 4.11 Hasil Analisa 3D <i>Printing</i>	46
Tabel 4.12 Sifat Mekanis Tulang Manusia	46
Tabel 4.13 Hasil Perbandingan Data Analisa	47

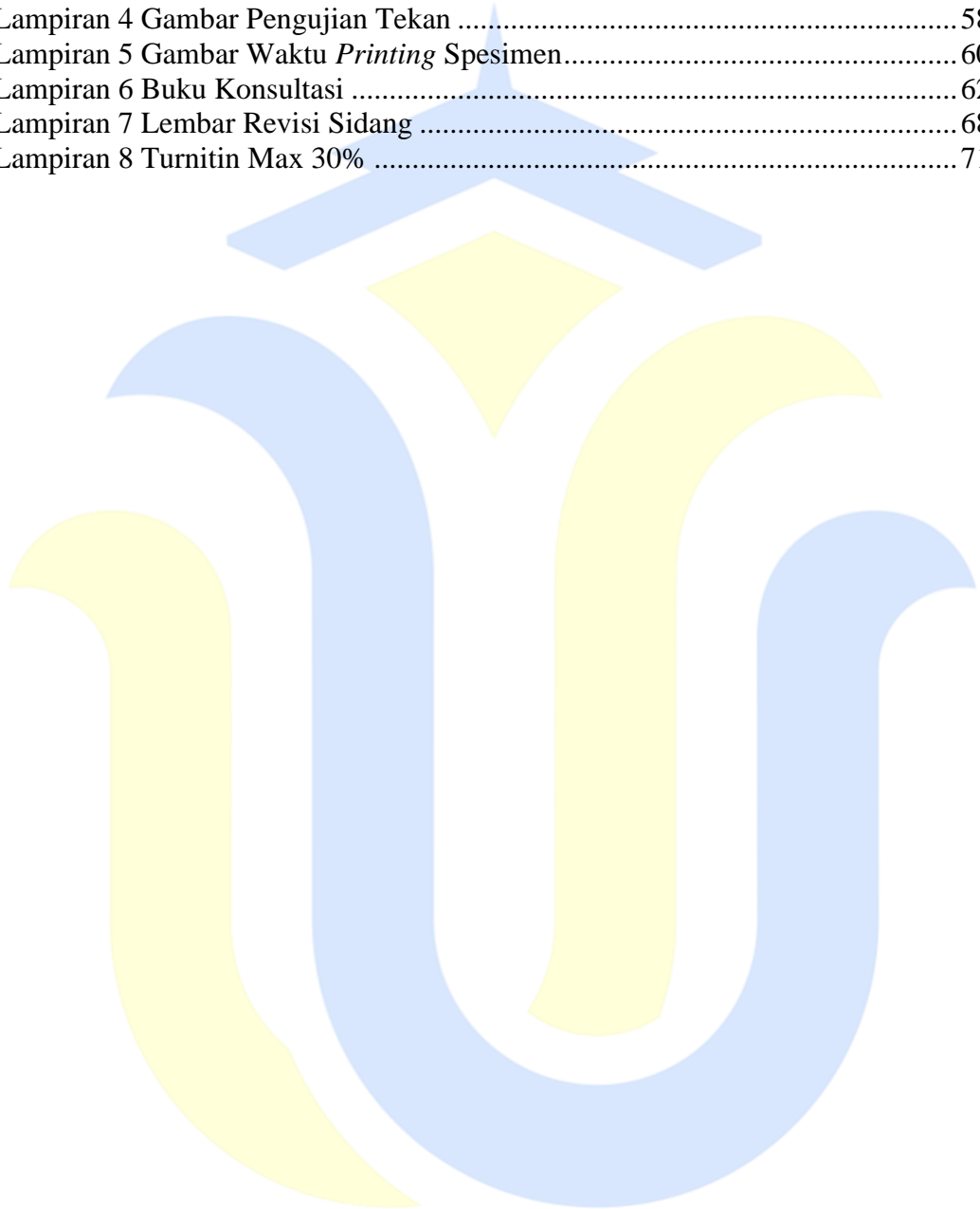
DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan	Nomor Persamaan
X	Panjang dimensi spesimen	mm	12,7
Y	Lebar dimensi spesimen	mm	12,7
Z	Tinggi dimensi spesimen	mm	25,4



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Variasi Desain Perancah Tulang.....	54
Lampiran 2 Desain Perancah Tulang Menggunakan CAD.....	56
Lampiran 3 Spesimen Hasil <i>Printing</i>	57
Lampiran 4 Gambar Pengujian Tekan	58
Lampiran 5 Gambar Waktu <i>Printing</i> Spesimen.....	60
Lampiran 6 Buku Konsultasi	62
Lampiran 7 Lembar Revisi Sidang	68
Lampiran 8 Turnitin Max 30%	71



DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

PLA	: <i>Polylactic Acid</i>
AM	: <i>Additive Manufacture</i>
CAD	: <i>Computer Aided Design</i>
SLA	: <i>Stereolithography</i>
STL	: <i>Standart Triangle Language</i>
FDM	: <i>Fused Deposition Modeling</i>

