



**LAPORAN SKRIPSI**

**ANALISA SIFAT MEKANIS *IRREGULAR POROUS*  
*SCAFFOLD* UNTUK *BONE IMPLANT*  
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**HAIKAL WAHAUNAN  
NIM. 201854108**

**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

### ANALISA SIFAT MEKANIS *IRREGULAR POROUS* *SCAFFOLD* UNTUK *BONE IMPLANT* MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

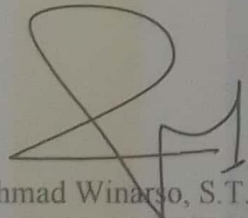
HAIKAL WAHAUNAN

NIM. 201854108

Kudus, 12 Agustus 2023

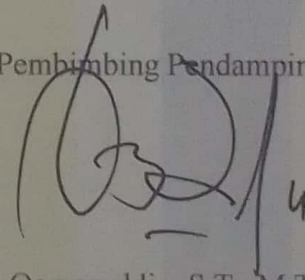
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pendamping,



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

## HALAMAN PENGESAHAN

# ANALISA SIFAT MEKANIS *IRREGULAR POROUS SCAFFOLD* UNTUK *BONE IMPLANT* MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

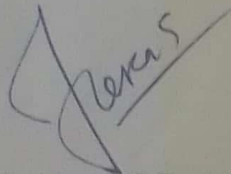
HAIKAL WAHAUNAN

NIM. 201854108

Kudus, 28 Agustus 2023

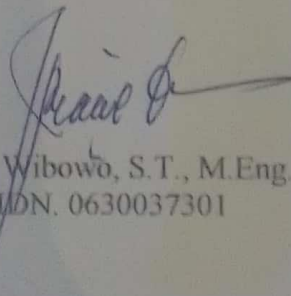
Menyetujui,

Ketua Penguji,



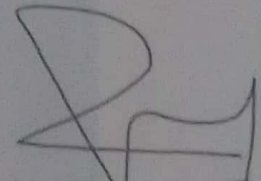
Hera Setiawan, S.T., M.T.  
NIDN. 0611066901

Anggota Penguji I,



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

Anggota Penguji II,



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

Mengetahui

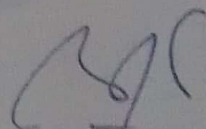
Dekan Fakultas Teknik



Mohammad Dakhan, S.T., M.T.  
NIDN. 0610701000001141

Ketua Program Studi Teknik

Mesin



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



## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Haikal Wahauan  
NIM : 201854108  
Tempat & Tanggal Lahir : Jakarta, 21 Juli 2000  
Judul Skripsi/Tugas Akhir\* : ANALISA SIFAT MEKANIS *IRREGULAR*  
*POROUS SCAFFOLD* UNTUK *BONE*  
*IMPLANT* MENGGUNAKAN METODE  
ELEMEN HINGGA

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, 22 Maret 2023

Yang memberi pernyataan,



Haikal Wahauan  
NIM. 201854108

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur alhamdulillah kehadiran Allah SWT,akhirnya penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir ini, yang berjudul “ANALISA SIFAT MEKANIS *IRREGULAR POROUS SCAFFOLD* UNTUK *BONE IMPLANT* MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA”. Penyusunan Skripsi/Tugas Akhir ini ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik ( ST ).

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

1. Allah SWT yang telah memberi kesehatan serta kekuatan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Keluarga tercinta terutama orang tua dan keluarga yang selalu memberikan do'a, dukungan dan motivasi sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Bapak Mohamad Dahlan, S.T.,M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus.
4. Bapak Dr Akhmad Zidni Hidayana S.T.,M.T. selaku kaprodi teknik mesin.
5. Bapak Qomaruddin, S.T.,M.T selaku dosen wali saya.
6. Bapak Rochmad Winarso, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah sabar membimbing dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Bapak Qomaruddin, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing II yang sabar membimbing dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
8. Bapak Hera Setiawan, S.T.,M.T. selaku ketua penguji yang telah memberikan masukan dan membantu dalam pemahaman pada laporan tugas akhir ini.
9. Bapak Riyanto Wibowo S.T.,M.Eng. selaku anggota penguji yang telah memberi masukan pada laporan tugas akhir ini.

**Analisa Sifat Mekanis *Irregular Porous Scaffold* Untuk *Bone Implant*  
Menggunakan Metode Elemen Hingga**

Nama mahasiswa : Haikal Wahaunan

NIM : 201854108

Pembimbing :

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

**RINGKASAN**

Tulang merupakan penyangga tubuh utama, sehingga kesehatan tulang sangat penting untuk menggerakkan anggota tubuh dan mobilisasi fisik. Penyakit tulang biasanya disebabkan kanker, menurut data dari WHO pada tahun 2008 mencapai 12 juta kasus kanker baru, 7 juta orang meninggal serta 5 juta orang hidup dengan penyakit kanker. Metode yang sering dipakai untuk mengganti tulang biasanya menggunakan metode *bone graft*. Oleh sebab itu, penyembuhan kerusakan tulang dengan transplantasi tulang menggunakan metode *tissue engineering* (rekayasa jaringan) merupakan *alternative* dari perawatan konvensional. Penggunaan struktur *irregular porous* dalam rekayasa jaringan tulang (BTE) telah menarik perhatian yang sangat meningkat, karena sebuah struktur berpori yang tidak teratur mirip jaringan manusia lebih cocok untuk pertumbuhan jaringan tulang, daripada struktur berpori yang teratur. Dalam studi ini desain struktur berpori tidak teratur menggunakan desain *Tesellasi Voronoi*, dengan tujuan didapatkannya desain mikroarsitektur *irregular porous scaffold* dengan porositas 60% serta pore size antara 100 – 1600  $\mu\text{m}$ . Metode perhitungan yang digunakan adalah metode elemen hingga, dengan metode penelitian dimulai dari literature review, pengembangan bone scaffold media polimer PLA, proses desain *irregular porous* perancah tulang, penginputan material, analisa data dari hasil analisa, pembahasan, dan kesimpulan. Hasil dari penelitian ini meliputi, hasil proses uji *Deformation* serta hasil perhitungan sifat mekanis berupa *compressive strength*, Modulus Elastisitas, serta regangan.

**Kata kunci** : *Bone Scaffold*, Simulasi Mekanika Properties, Metode Elemen Hingga

# ***Mechanic Analysis Of Irregular Porous Scaffold For Bone Implant Using Finite Element Method***

*Student Name* : Haikal Wahaunan

*Student Identity Number* : 201854108

*Supervisor* :

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

## ***ABSTRACT***

*Bones are the body's main support, so bone health is very important for moving limbs and physical mobilization. Bone disease is usually caused by cancer, according to data from WHO in 2008 there were 12 million new cancer cases, 7 million people died and 5 million people were living with cancer. The method that is often used for bone replacement usually uses the bone graft method. Therefore, healing bone damage with bone transplantation using the tissue engineering method is an alternative to conventional treatment. The use of Irregular Porous Structure in Bone Tissue Engineering(BTE) has attracted increasing attention, Because an irregular porous structure similar to human tissue is more suitable for the growth of bone tissue, than a regular porous scaffold. In this study the design of irregular porous structure uses the Voronoi Tessellation design, with the aim of obtaining an irregular porous scaffold microarchitectural design with a porosity 60% and pore size between 100 – 1,600  $\mu\text{m}$ . The calculation method to used in this study is the finite element method, with research methods starting from a literature review, development of PLA polymer media bone scaffold, design process of irregular porous scaffold, material input, data analysis from result analysis, discussion, and conclusions. The result of this research is, the result of the deformation test and the result of calculation mechanical properties is compressive strength, elastic modulus, and strain.*

***Keywords*** : Bone Scaffold, Simulation of Mechanical Properties, Finite Element Method



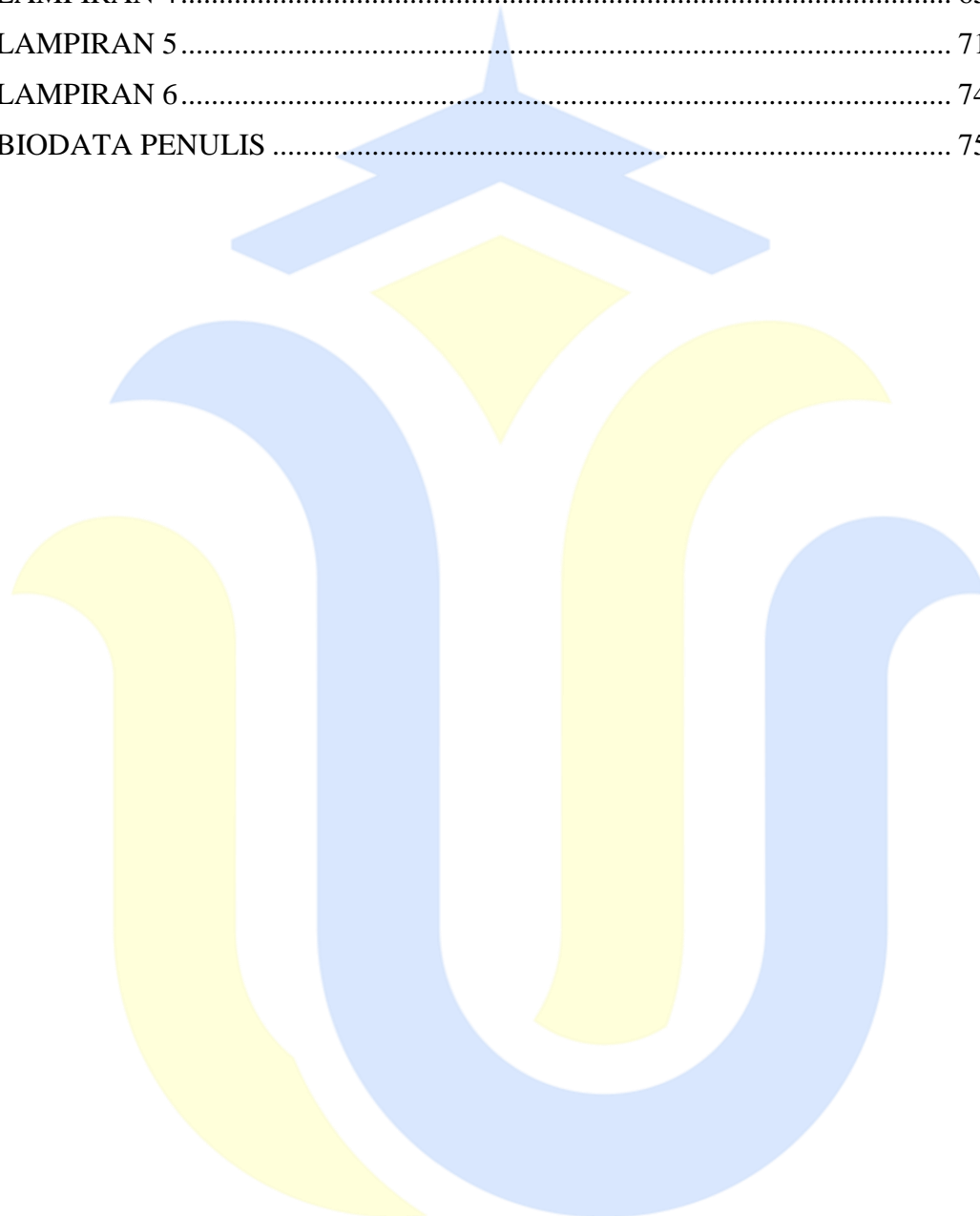
# DAFTAR ISI

LAPORAN SKRIPSI.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
RINGKASAN .....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
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 Penelitian .....	3
1.5. Sistematika penulisan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI .....	5
2.1. Tissue Engineering.....	5
2.2. Tulang (Bone) .....	5
2.3. Sifat Fisis Dan Sifat Mekanik Tulang.....	6
2.4. Perancah (Scaffold).....	7
2.5. Bio Material .....	8
2.5.1. Polimer Polylactic Acid (PLA) .....	8
2.5.2. Poly ( $\epsilon$ -caprolactone) PCL.....	10
2.5.3. Poly-lactice-co-gicolic Acid (PLGA) .....	10
2.6. Konsep Desain Mekanika Properties Scaffold.....	10
2.7. Pengujian Tekan.....	11
2.8. Metode Elemen Hingga.....	13
2.9. Meshing.....	14



2.10. Beban .....	14
2.11. Tegangan .....	15
2.12. Metode Komputasi Dalam Merancah Scaffold .....	15
2.13. Sel Unit Struktur Scaffold .....	16
2.13.1. Desain Non-Parametrik .....	16
2.13.2. Desain Parametrik .....	17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>19</b>
3.1. Alur Perancangan .....	19
3.2. Perancangan spesifikasi struktur .....	20
3.3. Proses Desain Mekanika Properties Bone Scaffold .....	21
3.4. Analisa dan simulasi ANSYS .....	27
3.4.1. Proses Uji Porositas Dan Pore Size .....	27
3.4.2. Langkah Mencari Porositas .....	28
3.4.3. Langkah Mencari Pore size .....	30
3.4.4 Proses Simulasi Ansys Workbench R2 .....	33
3.5. Pemberian Beban .....	38
3.6. Hasil Analisa Proses Validasi .....	39
3.6.1. Total Deformation .....	39
3.6.2. Strain .....	39
3.6.3. Compressive Strength .....	39
3.6.4. Modulus Elastisitas .....	40
3.7. Tabel Hasil Pengujian .....	40
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>41</b>
4.1. Tahap Proses Hasil Porosity Dan Pore Size .....	41
4.1.1. Hasil Porosity .....	41
4.1.2. Hasil Pengukuran Pore Size .....	41
4.2. Hasil Simulasi Ansys Workbench .....	43
4.2.1. Deformation Total .....	44
4.2.2. Compressive Strength .....	46
4.2.3. Elastic Modulus .....	49
4.3. Tabel Hasil Pengujian .....	51
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	<b>53</b>
5.1. Kesimpulan .....	53
5.2. Saran .....	53

DAFTAR PUSTAKA .....	55
LAMPIRAN 1 .....	58
LAMPIRAN 2 .....	62
LAMPIRAN 3 .....	63
LAMPIRAN 4 .....	65
LAMPIRAN 5 .....	71
LAMPIRAN 6 .....	74
BIODATA PENULIS .....	75



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Setup pengujian yang digunakan untuk pengujian tekan .....	11
Gambar 2. 2	Bone scaffold yang dihasilkan mealalui metode IFD .....	11
Gambar 2. 3	Skema dari Indirect FDM.....	12
Gambar 2. 4	Desain non parametrik BBC dan unit modifikasinya.....	17
Gambar 3. 1	Diagram alur perancangan .....	19
Gambar 3. 2	Sketsa Dimensi Microarsitektur .....	21
Gambar 3. 3	Desain Voronoi Tesellation.....	22
Gambar 3. 4	Desain Unit sell 2.5 .....	23
Gambar 3. 5	Desain Unit sell 3 .....	24
Gambar 3. 6	Desain Unit sell 3.5 .....	25
Gambar 3. 7	Desain Unit sell 4 .....	26
Gambar 3. 8	Volume Poros.....	27
Gambar 3. 9	Desain Mikroarsitektur.....	28
Gambar 3. 10	Material Desain .....	28
Gambar 3. 11	Massa Spesimen .....	29
Gambar 3. 12	Menghitung rumus dengan Microsoft Excel.....	29
Gambar 3. 13	Gambar Pore Size.....	30
Gambar 3. 14	File Desain Mikroarsitektur dalam format JPG .....	30
Gambar 3. 15	Memasukkan Gambar ke dalam Software Image J.....	31
Gambar 3. 16	Mengubah Skala Ukuran.....	31
Gambar 3. 17	Mengukur Pore Size.....	32
Gambar 3. 18	Ansys Workbench R2 .....	33
Gambar 3. 19	Tampilan awal Ansys Workbench R2.....	33
Gambar 3. 20	Tampilan Menu Analysis Structural .....	34
Gambar 3. 21	Tampilan Engineering Data .....	34
Gambar 3. 22	Tampilan Sapesifikasi Mekanika Properties .....	34
Gambar 3. 23	Tampilan Input Geometri .....	35

Gambar 3. 24 Tampilan Pemilihan Material.....	35
Gambar 3. 25 Tampilan Proses Meshing .....	36
Gambar 3. 26 Tampilan Fixed Support.....	36
Gambar 3. 27 Tampilan Displacement.....	37
Gambar 3. 28 Tampilan Definition .....	37
Gambar 3. 29 Tampilan Size Force.....	37
Gambar 3. 30 Tampilan Force Reaction .....	38
Gambar 3. 31 Tampilan Solve .....	38
Gambar 4. 1 Hasil Simulasi Deformation Total .....	45
Gambar 4. 2 Data grafik hasil dari tegangan tiap desain .....	46
Gambar 4. 3 Grafik hasil pengujian alat tekan tiap desain .....	47
Gambar 4. 4 Grafik compressive strength hasil pengujian alat uji tekan.....	48
Gambar 4. 5 Data grafik hasil dari Modulus Elastisitas tiap desain .....	49
Gambar 4. 6 Grafik Modulus Elastisitas pengujian alat uji tekan .....	50



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kandungan Mineral Tulang Manusia .....	6
Tabel 2. 2 Sifat Mekanik Tulang Manusia.....	7
Tabel 2. 3 Spesifikasi Mechanical Properties PLA+ .....	9
Tabel 2. 4 Sifat Fisik PLA.....	9
Tabel 4. 1 Hasil Uji Porosity Bone Scaffold.....	41
Tabel 4. 2 Hasil Pore Size Bone Scaffold .....	42
Tabel 4. 3 Hasil Simulasi Total Deformation .....	44
Tabel 4. 4 Tabel hasil analisa tiap desain pengujian alat uji tekan .....	48
Tabel 4. 5 Hasil Simulasi Serta Analisa Desain.....	51
Tabel 4. 6 Sifat Mekanis Tulang Manusia .....	51
Tabel 4. 7 Hasil Perbandingan Data dan Analisa Desain.....	52

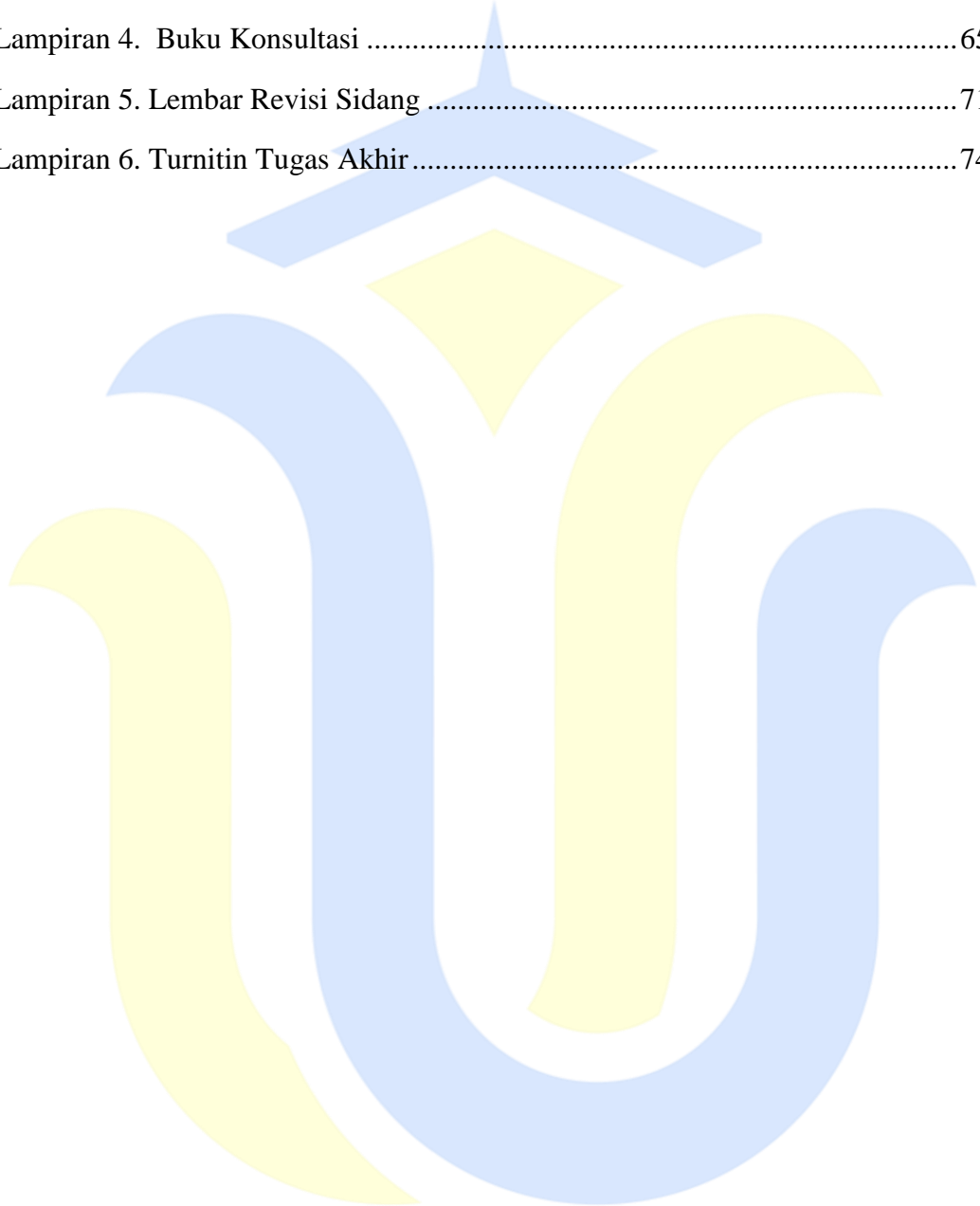
## DAFTAR SIMBOL

<b>Simbol</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Satuan</b>	<b>Nomor Persamaan</b>
<i>X</i>	Panjang dimensi spesimen	mm	4.23
<i>Y</i>	Lebar dimensi spesimen	mm	4.23
<i>Z</i>	Tinggi dimensi spesimen	mm	8.46



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Struktur Voronoi.....	58
Lampiran 2. Gambar Simulasi ANSYS .....	62
Lampiran 3. Data Tabel dan Grafik Analisa Sifat Mekanis.....	63
Lampiran 4. Buku Konsultasi .....	65
Lampiran 5. Lembar Revisi Sidang .....	71
Lampiran 6. Turnitin Tugas Akhir.....	74



## DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

PLA	: <i>Polylactid Acid</i>
AM	: <i>Adictive Manufacture</i>
CAD	: <i>Computer Aided Design</i>
FDM	: <i>Fused Deposition Modelling</i>





