



LAPORAN SKRIPSI

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

**MUHAMMAD RIFQI
NIM. 201854115**

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

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

2024

HALAMAN PERSETUJUAN

**DESAIN MANUFAKTUR *OCTAGONAL GEOMETRY POROUS*
SCAFFOLD UNTUK *BONE IMPLANT* MENGGUNAKAN
METODE *FUSED DEOSITION MODELING (FDM)***

MUHAMMAD RIFQI
NIM. 201854115

Kudus, 9 Januari 2024

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pendamping,



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

Mengetahui,

Koordinator Skripsi



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

HALAMAN PENGESAHAN

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

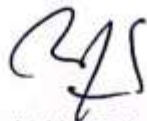
MUHAMMAD RIFQI

NIM. 201854115

Kudus, 9 Januari 2024

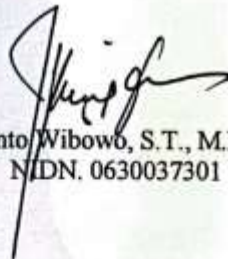
Menyetujui,

Ketua Penguji,



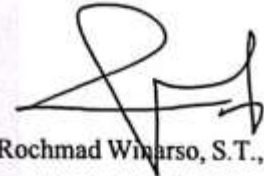
Dr. Akhmad Zidni Hudaya, S.T., M.Eng.
NIDN. 0021087301

Anggota Penguji I,



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

Anggota Penguji II,



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

Mengetahui

Pt. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eko Purandito, S.Kom., M.Cs.
NIDN. 061001000001171

Ketua Program Studi Teknik Mesin



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Rifqi
NIM : 201854115
Tempat & Tanggal Lahir : Jepara, 6 Agustus 1998
Judul Skripsi : Desain Manufaktur *Octagonal Geometry Porous Scaffold Untuk Bone Implant* Menggunakan Metode *Fused Deposition Modeling (FDM)*

Saya dengan sungguh-sungguh menyatakan bahwa penulisan skripsi ini didasarkan pada hasil penelitian asli saya, refleksi dan presentasi, baik yang berkaitan dengan teks laporan maupun kegiatan lain yang disebutkan dalam skripsi ini. Semua ide, pendapat, dan bahan dari sumber lain telah dikutip dalam skripsi ini melalui catatan kaki yang sesuai.

Oleh karena itu, saya membuat pernyataan ini dengan sebenar-benarnya dan apabila dikemudian hari terbukti bahwa apa yang saya katakan tidak benar, saya siap menerima konsekuensi akademik, termasuk pencabutan gelar saya dan sanksi tambahan sesuai dengan peraturan Universitas Muria Kudus.

Pernyataan ini saya buat dengan benar dan sadar, tanpa dipaksa oleh orang lain.

Kudus, 9 Januari 2024
Yang memberi pernyataan,



Muhammad Rifqi
NIM. 201854115

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan rasa hormat dan Syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya. Salah satu berkahnya yang diberikan oleh karunia-Nya adalah kemampuan untuk membuat dan menyelesaikan laporan akhir yang berjudul **“DESAIN MANUFAKTUR OCTAGONAL GEOMETRY POROUS SCAFFOLD UNTUK BONE IMPLANT MENGGUNAKAN METODE FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)”**.

Skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) dalam program studi Teknik Mesin di Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus.

Penyelesaian laporan skripsi ini tidak dapat terselesaikan tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak yang berkepentingan. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebagai berikut:

1. Kehadirat Allah SWT yang selalu memberi rahmat, anugrah, dan kasih sayang kepada penulis sehingga laporan skripsi ini dapat diselesaikan.
2. Kedua orang tuaku yang paling dicintai, bapak dan ibu, yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan, dan inspirasi kepada penulis selama proses penulisan laporan skripsi ini.
3. Bpk Rianto Wibowo, S.T., M.Eng. selaku Ketua program studi Teknik Mesin Universitas Muria Kudus.
4. Bpk Dr. Rochmad Winarso, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama, dan Bpk Qomaruddin, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing pendamping, masing-masing memberikan nasihat dan motivasi kepada penulis.
5. Bpk. Dr. Akhmad Zidni Hudaya, S.T., M.Eng. selaku penguji yang memberikan kontribusi terhadap laporan skripsi ini.

6. Dosen-dosen dari jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan kontribusi pengetahuan mereka selama penulis belajar di Universitas Muria Kudus.
7. Sahabat Teknik Mesin Universitas Muria Kudus atas kebaikan, persahabatan dan keluarganya.

Penulis menerima kritik, saran, dan komentar dari pembaca karena mereka menyadari bahwa skripsi ini memiliki kelemahan dan kekurangan yang harus diperbaiki di masa mendatang. Akhir kata, penulis berharap laporan ini bermanfaat bagi penulis dan semua pembaca.



Kudus, 9 Januari 2024

Penulis

Muhammad Rirqi

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

Nama mahasiswa : Muhammad Rifqi

NIM : 201854115

Pembimbing :

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

RINGKASAN

Tubuh didukung oleh tulang. Menjadi tahap organik ketika kristal kalsium dihasilkan dan dilapisi dengan fase anorganik, tulang adalah jaringan komposit alami. Komponen yang membentuk tulang terdiri dari 30% matriks, 10% air, dan 60% mineral. Kerusakan organ skala besar biasanya mempengaruhi tulang sebagai akibat dari penyakit, trauma, dan osteoporosis. Jaringan tulang tubuh manusia dipengaruhi oleh osteoporosis, patah tulang, dan potensi kerusakan tulang. Kondisi ini membutuhkan terapi yang mempromosikan penyembuhan jaringan, seperti regenerasi dan pengganti. Saat ini, biokomposit biodegradable berbasis polimer telah diproduksi, yang memiliki keuntungan tidak menyusut setelah pencangkokan tulang, pengurangan biaya, morbiditas pasien, keamanan, dan rasa sakit. Sekarang dibantu oleh manufaktur aditif, teknik yang sangat maju, adalah proses menciptakan objek tiga dimensi yang berubah bentuk. Menciptakan mikroarsitektur perancah tulang dengan ukuran pori maksimum 1000 μm dan porositas 60% untuk implantasi jaringan tulang merupakan tantangan. Tujuan dari proyek ini adalah untuk mengembangkan kemampuan untuk membuat mikroarsitektur perancah tulang asam polilaktat (PLA) untuk digunakan dalam rekayasa jaringan tulang. Metodologi ini melibatkan tinjauan literatur yang relevan sebelum beralih ke desain mikroarsitektur struktur tulang, proses pembuatan, proses pengujian, pengumpulan data, analisis data, diskusi, dan kesimpulan. Pemanfaatan desain perancah tulang non-parametrik sebagai solusi jaringan tulang pengganti adalah hasil yang diantisipasi dari makalah ini. Hasil dari penelitian ini didapatkan (A) porositas, (B) poresize, (C) compressive strength dan (D) modulus elastisitas sebagai berikut, (unit sel **1,82**). (A). 59,96% (B). 1,417 μm (C). 6,53 MPa (D). 0,12 GPa. (unit sel **2,1**). (A). 60,29% (B). 1,540 μm (C). 6,53 MPa (D). 0,20 GPa. (unit sel **2,54**). (A). 60,23% (B). 1,870 μm (C). 8,82 MPa (D). 0,26 GPa. (unit sel 3,175). (A). 60,23% (B). 2,502 μm (C). 8,02 MPa (D). 0,22 GPa.

Kata Kunci : Porositas, Perancah Tulang, Percetakan 3D, PLA.

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

Student Name : Muhammad Rifqi

Student Identity Number 201854115

Supervisor :

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

ABSTRACT

The body is supported by the bones. Being an organic stage when calcium crystals are generated and coated with an inorganic phase, bone is a naturally occurring composite tissue. The components that make up bones are composed of 30% matrix, 10% water, and 60% minerals. Large-scale organ damage typically affects bones as a result of illness, trauma, and osteoporosis. The human body's bone tissue is impacted by osteoporosis, fractures, and potential bone damage. These conditions call for therapies that promote tissue healing, such as regeneration and substitutes. At now, polymer-based biodegradable biocomposites have been produced, which have the advantages of no shrinking after bone grafting, cost reduction, patient morbidity, safety, and painlessness. now assisted by additive manufacturing, a very advanced technique, is the process of creating three- dimensional objects that change shape. Creating a bone scaffold microarchitecture with a maximum pore size of 1000 μm and 60% porosity for the implantation of bone tissue was a challenge. The goal of this project is to develop the ability to create a polylactic acid (PLA) bone scaffold microarchitecture for use in bone tissue engineering. The methodology involves a review of the relevant literature before moving on to the design of the bone structure microarchitecture, the manufacturing process, the testing process, data gathering, data analysis, discussion, and conclusions. The utilization of non-parametric bone scaffolding design as a replacement bone tissue solution is the anticipated outcome of this paper. The results of this research obtained (A) porosity, (B) poresize, (C) compressive strength and (D) elastic modulus as follows,
(unit cell 1.82). (A). 59.96% (B). 1.417 μm (C). 6.53 MPa (D). 0.12 GPa.
(unit cell 2.1). (A). 60.29% (B). 1,540 μm (C). 6.53 MPa (D). 0.20 GPa.
(unit cell 2.54). (A). 60.23% (B). 1,870 μm (C). 8.82 MPa (D). 0.26 GPa.
(unit cell 3,175). (A). 60.23% (B). 2,502 μm (C). 8.02 MPa (D). 0.22 GPa.

Keywords: Porosity, Bone Scaffolding, 3D Printing, PLA.

DAFTAR ISI

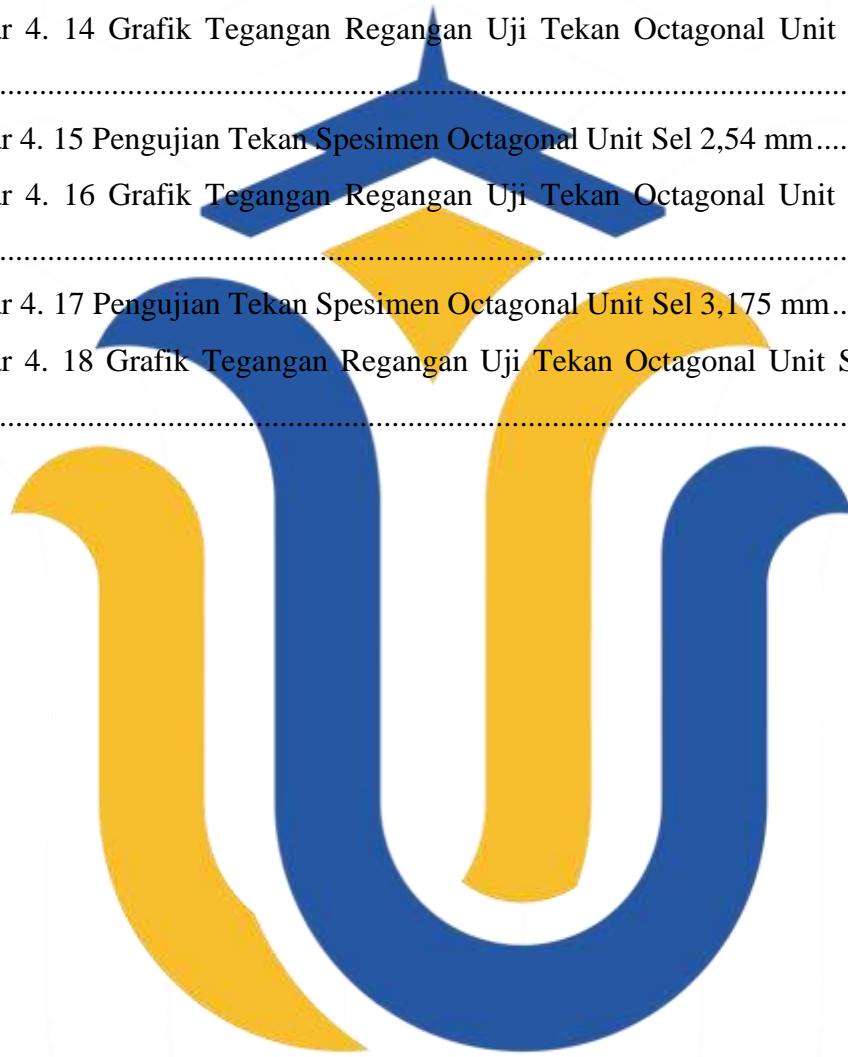
LAPORAN SKRIPSI	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
KATA PENGANTAR	v
RINGKASAN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
1.1. Teknik Manufaktur Aditif (AM).....	5
1.2. Rekayasa Jaringan Perancah Tulang.....	8
1.3. Metode Pergantian Tulang Yang Sering Digunakan	8
1.4. Desain Scaffold	9
1.5. Bahan yang digunakan dalam rekonstruksi jaringan tulang	11
1.6. Bahan berbasis <i>Poly-caprolactone</i> (PCL).....	13
1.7. Bahan berbasis <i>Poly-lactic-co-glycolic Acid</i> (PLGA)	13
1.8. <i>Filament PolymaxTM PLA</i>	14
1.9. Uji Kekuatan Tekan	15
1.10. Uji <i>Image Processing</i>	15
BAB III METODOLOGI.....	16

3.1.	Diagram Alir Penelitian	16
3.2.	Perancangan Detail spesifikasi struktur	16
3.3.	Desain Model.....	17
3.4.	Persiapan Proses Manufaktur.....	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1.	Hasil 3D <i>Printing</i> Desain <i>Irregular Porous Scaffold</i>	29
4.2.	Hasil Struktural Propertis <i>Irregular Porous Scaffold</i>	30
4.2.1.	Hasil Perhitungan Porositas.....	30
4.2.2.	Hasil Pengukuran Panjang (X)	32
4.2.3.	Hasil Pengukuran Lebar (Y).....	33
4.2.4.	Hasil Pengukuran Tinggi (Z).....	35
4.2.5.	Hasil Uji <i>Image Processing</i>	36
4.3.	Hasil Mekanika Propertis.....	39
4.3.1.	Hasil Pengujian Tekan Spesimen Octagonal Unit Sel 1,82 mm	40
4.3.2.	Hasil Pengujian Tekan Spesimen Octagonal Unit Sel 2,1 mm	41
4.3.3.	Hasil Pengujian Tekan Spesimen Octagonal Unit Sel 2,54 mm	42
4.3.4.	Hasil Pengujian Tekan Spesimen Octagonal Unit Sel 3,175 mm	43
4.4.	Pembahasan	44
4.4.1.	Tabel Hasil Pengujian.....	44
BAB V PENUTUP		47
5.1.	Kesimpulan	47
5.2.	Saran	48
DAFTAR PUSTAKA		49
LAMPIRAN 1		52
LAMPIRAN 2		54
LAMPIRAN 3		55
LAMPIRAN 4		56
LAMPIRAN 5		58
LAMPIRAN 6.....		60
LAMPIRAN 7.....		64
LAMPIRAN 8.....		67
BIODATA PENULIS.....		68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	16
Gambar 3. 2 Filament Polymax™ PLA.....	18
Gambar 3. 3 Mesin 3D Printing Ender-5.....	19
Gambar 3. 4 Mesin Universal Testing Machine.....	19
Gambar 3. 5 Laptop ASUS A416J.....	20
Gambar 3. 6 Software Ptc Creo Parametric.....	20
Gambar 3. 7 Slicer Ultimaker Cure 5.0.....	20
Gambar 3. 8 Jangka Sorong Digital.....	21
Gambar 3. 9 Timbangan Digital.....	21
Gambar 3. 10 Camera HP.....	21
Gambar 3. 11 Software ImageJ.....	22
Gambar 3. 12 Desain Spesimen Perancah Tulang.....	22
Gambar 3. 13 Mengubah Material Menjadi PLA.....	23
Gambar 3. 14 Identifikasi Massa Spesimen.....	23
Gambar 3. 15 Menghitung Porositas Desain.....	24
Gambar 3. 16 Memasukkan Gambar Spesimen ke Software ImageJ.....	24
Gambar 3. 17 Skala Ukuran.....	25
Gambar 3. 18 Mengukur Pore Size.....	25
Gambar 3. 19 Mendesain Menggunakan CAD.....	25
Gambar 3. 20 Pengaturan Dalam Software Ultimaker Cura.....	26
Gambar 3. 21 Pemasangan Filamen.....	26
Gambar 3. 22 Memasukkan memori.....	27
Gambar 3. 23 Proses Printing Spesimen.....	27
Gambar 4. 1 Hasil Printing.....	29
Gambar 4. 2 Grafik Porositas.....	31
Gambar 4. 3 Grafik Pengukuran Panjang.....	33
Gambar 4. 4 Grafik Pengukuran Lebar.....	34
Gambar 4. 5 Grafik Pengukuran Tinggi.....	36
Gambar 4. 6 Hasil Pengukuran Pore Size octagonal Unit Sel 1,82 mm.....	37
Gambar 4. 7 Hasil Pengukuran Pore Size Octagonal Unit Sel 2,1 mm.....	37

Gambar 4. 8 Hasil Pengukuran Pore Size Octagonal Unit Sel 2,54 mm.....	38
Gambar 4. 9 Hasil Pengukuran Pore Size Octagonal Unit Sel 3,175 mm.....	38
Gambar 4. 10 Grafik Pore Size.....	39
Gambar 4. 11 Pengujian Tekan Spesimen octagonal Unit Sel 1,82 mm.....	40
Gambar 4. 12 Grafik Tegangan Regangan Uji Tekan Octagonal Unit Sel 1,82 mm.....	41
Gambar 4. 13 Pengujian Tekan Spesimen Octagonal Unit Sel 2,1 mm.....	41
Gambar 4. 14 Grafik Tegangan Regangan Uji Tekan Octagonal Unit Sel 2,1 mm.....	42
Gambar 4. 15 Pengujian Tekan Spesimen Octagonal Unit Sel 2,54 mm.....	42
Gambar 4. 16 Grafik Tegangan Regangan Uji Tekan Octagonal Unit Sel 2,54 mm.....	43
Gambar 4. 17 Pengujian Tekan Spesimen Octagonal Unit Sel 3,175 mm.....	43
Gambar 4. 18 Grafik Tegangan Regangan Uji Tekan Octagonal Unit Sel 3,175 mm.....	44



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sifat Fisik dan Mekanik PLA (Suryani et al., 2015)	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2. Sifat fisik dan mekanis <i>poly-caplolute</i> (PLA) (Hidayat, 2018) ...	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. Spesifikasi <i>Filament Polymax™</i> PLA	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 1 Waktu Proses <i>Printing</i>	30
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Porositas.....	30
Tabel 4. 3 Data Hasil Pengukuran Panjang (X).....	32
Tabel 4. 4 Data Hasil Pengukuran Lebar (Y).....	33
Tabel 4. 5 Data Hasil Pengukuran Tinggi (Z).....	35
Tabel 4. 6 Hasil Pore Size Desain dan Print.....	39
Tabel 4. 7 Data Pengujian Tekan <i>octagonal</i> Unit Sel 1,82 mm.....	40
Tabel 4. 8 Data Pengujian Tekan <i>Octagonal</i> Unit Sel 2,1 mm.....	41
Tabel 4. 9 Data Pengujian Tekan <i>Octagonal</i> Unit Sel 2,54 mm.....	42
Tabel 4. 10 Data Pengujian Tekan <i>Octagonal</i> Unit Sel 3,175 mm.....	44
Tabel 4. 11 Hasil Analisa <i>3D Printing</i>	45
Tabel 4. 12 Sifat Mekanis Tulang Manusia.....	45
Tabel 4. 13 Hasil Perbandingan Data Analisa.....	45

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.....	52
Lampiran 2 Desain Perancah Tulang Menggunakan CAD.....	54
Lampiran 3 Spesimen Hasil <i>Printing</i>	55
Lampiran 4 Gambar Pengujian Tekan	56
Lampiran 5 Gambar Waktu <i>Printing</i> Spesimen.....	58
Lampiran 6 Buku Konsultasi.....	60
Lampiran 7 Lembar Revisi Sidang.....	64
Lampiran 8 Turnitin Max 30%.....	67



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>

