



LAPORAN SKRIPSI

**DESAIN, MANUFAKTUR DAN ANALISA MIKROARSITEKTUR
PERANCAH TULANG BERBASIS *NON-PARAMETRIK*
DENGAN METODE *ADDITIVE MANUFACTURE***

**ILHAM DWI AJINUGROHO
NIM. 201854029**

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

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

HALAMAN PERSETUJUAN

DESAIN, MANUFAKTUR DAN ANALISA MIKROARSITEKTUR PERANCAH TULANG BERBASIS *NON-PARAMETRIK* DENGAN METODE *ADDITIVE MANUFACTURE*

ILHAM DWI AJINUGROHO

201854029



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

HALAMAN PENGESAHAN

DESAIN, MANUFaktur DAN ANALISA MIKROARSITEKTUR PERANCAH TULANG BERBASIS *NON-PARAMETRIK* DENGAN METODE *ADDITIVE MANUFACTURE*

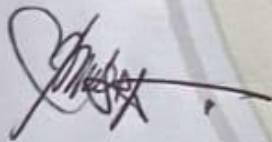
ILHAM DWI AJINUGROHO

201854029

Kudus, 7 Februari 2023

Menyetujui,

Ketua Penguji



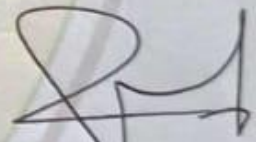
Dr. Sugeng Slamet S.T.,M.T
NIDN. 0622067101

Anggota Penguji I



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

Anggota Penguji II



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

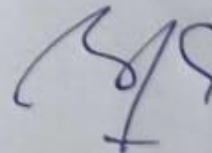
Mengetahui

Dean Fakultas Teknik



Mohammad Wahlan S.T.,M.T
NIDN. 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 : Ilham Dwi Ajinugroho
NIM : 201854029
Tempat & Tanggal Lahir : Grobogan, 1 Agustus 2000
Judul Tugas Akhir : Desain, Manufaktur dan Analisa Mikroarsitektur Perancah Tulang Berbasis *Non-Parametrik* dengan Metode *Additive Manufacture*

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, 7 Februari 2023

Yang memberi pernyataan,



Ilham Dwi Ajinugroho
201854029

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat ALLAH S.W.T yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya. Atas kehendak-Nya juga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Desain, Manufaktur dan Analisa Mikroarsitektur Perancah Tulang Berbasis *Non-Parametrik* dengan Metode *Additive Manufacture***”. Adapun Penyusunan Skripsi ini ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar (S.T) Sarjana Teknik pada program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus.

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

1. Allah SWT yang selalu mencurahkan segala rahmat, anugerah, dan karunianya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang tua Ibu dan Bapak tercinta atas do'a serta kasih sayang dan dorongan semangat dan motivasi selama ini.
3. Bapak Dr. Akhmad Zidni Hudaya S.T.,M.Eng selaku Ka-Prodi Teknik Mesin Universitas Muria Kudus.
4. Bapak Rochmad Winarso S.T.,M.T selaku dosen pembimbing utama yang telah banyak memberi motivasi dan arahan kepada penulis.
5. Bapak Qomaruddin S.T.,M.T selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan masukan tambahan kepada penulis.
6. Dosen-dosen jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Muria Kudus.
7. Teman-teman Teknik Mesin Universitas Muria Kudus atas kebaikan, persahabatan dan kekeluargaannya.

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 buku skripsi ini bisa bermanfaat khususnya bagi penulis dan umumnya bagi para pembaca.

DESAIN, MANUFAKTUR DAN ANALISA MIKROARSITEKTUR PERANCAH TULANG BERBASIS *NON-PARAMETRIK* DENGAN METODE *ADDITIVE MANUFACTURE*

Nama mahasiswa : Ilham Dwi Ajinugroho

NIM : 201854029

Pembimbing :

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

RINGKASAN

Keterbatasan ketersediaan organ yang sesuai untuk memenuhi peningkatan permintaan transplantasi di seluruh dunia telah mengakibatkan kekurangan organ secara global. Di Amerika Serikat saja, lebih dari 70.000 pasien menunggu transplantasi organ. Cangkok tulang adalah jaringan transplantasi terpopuler di dunia. Saat ini telah dikembangkan biokomposit material polimer biodegradasi dengan kelebihan tanpa pengambilan pasca pencangkokan tulang, mengurangi pengeluaran biaya, traumatik penderita, aman, serta tanpa nyeri. Didukung perkembangan metode yang canggih saat ini yaitu *additive Manufacture* atau proses untuk membuat objek 3D dalam bentuk apa pun menggunakan mesin 3D Printing dengan menggunakan bahan PLA.

Metode yang digunakan adalah dimulai dari studi literature, mendesain mikroarsitektur perancah tulang, proses manufaktur, proses pengujian, pengambilan data, analisa data, pembahasan dan kesimpulan.

Hasil penelitian menunjukkan pembuatan perancah tulang yang didesain dengan porositas 60% dan pore size maks 1000 μm . Porositas print Desain Cubic 61,19 %, BCC 59,76 %, FCC 57,51 %, BCCFCC 72,78 %. dan pore size Cubic 0,965 μm , BCC 0,327 μm , FCC 1,059 μm , BCCFCC 0,273 μm . *Compressive Strenght* dari bahan PLA Dengan Porositas 57-72%. cubic 11,25 Mpa, BCC 9,56 Mpa, FCC 11,49 Mpa dan BCCFCC 2,75 Mpa. Untuk nilai *Modulus Elastisitas* Desain cubic 230,3989 Mpa, BCC 150,0352 Mpa, FCC 394,7675 Mpa, BCCFCC 47,82404 Mpa.

Kata Kunci: Porositas, Perancah Tulang, Pencetakan 3D, PLA

**DESIGN, MANUFACTURE AND ANALYSIS OF NON-PARAMETRIC
BASED BONE SCAFFOLD MICROARCHITECTURE USING ADDITIVE
MANUFACTURING METHODS**

Student Name : Ilham Dwi Ajinugroho

Student Identity Number : 201854029

Supervisor :

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

ABSTRACT

The limited availability of suitable organs to meet the increasing demand for transplants worldwide has resulted in a global shortage of organs. In the United States alone, more than 70,000 patients are waiting for organ transplants. Bone grafts are the most popular transplant tissue in the world. Currently, biocomposite biodegradable polymeric materials have been developed with the advantages of no post-bone graft removal, reducing costs, traumatic for sufferers, safe, and painless. Supported by the development of sophisticated methods today, namely additive manufacturing or processes for making 3D objects in any form using 3D printing machines using PLA materials.

The method used is starting from literature studies, designing bone scaffold microarchitecture, manufacturing process, testing process, data collection, data analysis, discussion and conclusion.

The results showed that the construction of bone scaffolds was designed with a porosity of 60% and a maximum pore size of 1000 μm . Cubic Design print porosity 61.19%, BCC 59.76 %, FCC 57.51 %, BCCFCC 72.78 %. and pore size Cubic 0.965 μm , BCC 0.327 μm , FCC 1.059 μm , BCCFCC 0.273 μm . Compressive Strength from PLA material With Porosity 57-72% cubic 11.25 Mpa, BCC 9.56 Mpa, FCC 11.49 Mpa and BCCFCC 2.75 Mpa. For the Cubic Design Elasticity Modulus value 230,3989 Mpa, BCC 150,0352 Mpa, FCC 394,7675 Mpa, BCCFCC 47,32404 Mpa.

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

DAFTAR ISI

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 LAMPIRAN	xiv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. <i>Additive Manufacture</i>	4
2.1.1 <i>Pengertian Additive Manufacture</i>	4
2.1.2 <i>Fused Deposition Modelling (FDM)</i>	4
2.1.3 <i>Proses Fused Deposition Modelling (FDM)</i>	5
2.1.4 <i>Prosedur 3D Printer</i>	5
2.2. <i>3D Printer</i> Dalam Rekonstruksi Pembuatan Perancah Tulang	6
2.2.1 <i>Rekayasa Jaringan Perancah Tulang</i>	6
2.2.2 <i>Sifat Struktural, Biologis Dan Sifat Mekanik Tulang</i>	7
2.2.3 <i>Metode Cangkok Tulang</i>	8
2.3. <i>Konsep Desain Perancah Tulang</i>	8
2.3.1 <i>Desain Non Parametrik</i>	9
2.3.2 <i>Persyaratan Biologis Dan Struktural Pembuatan Perancah Tulang</i>	10
2.4. <i>Bahan yang Digunakan Dalam Rekonstruksi Jaringan Tulang</i>	12
2.4.1 <i>Bahan Polimer</i>	12

2.4.2	Filament Esun PLA+	13
BAB III METODOLOGI		15
3.1.	Diagram Alir Penelitian	15
3.2.	Variabel Penelitian.....	16
3.3.	Identifikasi Nilai Variabel Kontrol.....	16
3.4.	Identifikasi Nilai Variabel Terikat.....	17
3.5.	Identifikasi Nilai Variabel Bebas	18
3.6.	Desain Spesimen Perancah Tulang.....	19
3.7.	Persiapan Proses Manufaktur	21
3.7.1	Bahan Penelitian.....	21
3.7.2	Alat Penelitian	21
3.8.	Langkah Mencari Porositas.....	24
3.9.	Langkah Mencari Pore Size	26
3.10.	Langkah Proses Manufaktur.....	28
3.11.	Prosedur Proses Pengujian Tekan.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		32
4.1.	Hasil Proses Printing Yang Telah Dilakukan.....	32
4.2.	Hasil Struktural Propertis 3D Printing	33
4.2.1	Hasil Perhitungan Porositas	33
4.2.2	Pembahasan Hasil Porositas.....	35
4.2.3	Hasil Pengukuran Panjang Sumbu (X).....	36
4.2.4	Hasil Pengukuran Lebar Sumbu (Y).....	38
4.2.5	Hasil Pengukuran Tinggi Sumbu (Z).....	40
4.2.6	Hasil <i>Image Processing</i>	42
4.2.7	Pembahasan Hasil Struktural Propertis.....	45
4.3.	Hasil Mekanika Propertis	46
4.4.	Hasil Pengujian Tekan Spesimen	46
4.5.	Diagram <i>Load</i> dan <i>Displacement</i> Spesimen	48
4.6.	Hasil Tegangan dan Regangan	48
4.7.	Hasil <i>Compressive Modulus Elastisitas</i>	49
4.8.	Hasil <i>Compressive Strenght</i>	50
4.9.	Hasil <i>Elongation</i>	51
4.10.	Pembahasan Hasil Mekanika Propertis	51
BAB V PENUTUP		53
5.1.	Kesimpulan.....	53
5.2.	Saran	53

DAFTAR PUSTAKA..... 54
LAMPIRAN 56
BIODATA PENULIS..... 68



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema <i>Fused Deposition Modelling</i>	5
Gambar 2.2 Unit desain non parametrik BCC.....	9
Gambar 2.3 Unit desain non parametrik FCC.	10
Gambar 2.4 <i>Filament Esun PLA+</i>	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	15
Gambar 3.2 Desain Spesimen Perancah Tulang.....	20
Gambar 3.3 <i>Filament Esun PLA+</i>	21
Gambar 3.4 Mesin 3D Printing <i>Ender-3 S1</i>	21
Gambar 3.5 Mesi Uji Tekan	22
Gambar 3.6 Laptop <i>Ideapad 320 AMD 9</i>	22
Gambar 3.7 <i>Software Ptc Creo Parametric</i>	22
Gambar 3.8 <i>Slicer Ultimaker Cura 5.2.1</i>	23
Gambar 3.9 Jangka Sorong Digital.....	23
Gambar 3.10 Timbangan Digital	23
Gambar 3.11 Camera HP	24
Gambar 3.12 Desain Spesimen.....	24
Gambar 3.13 Mengubah Material menjadi PLA	25
Gambar 3.14 Identifikasi Volume Spesimen	25
Gambar 3.15 Menghitung rumus menggunakan microsoft exel	26
Gambar 3.16 Menyimpan file dengan format JPG.....	26
Gambar 3.17 Memasukan gambar dalam software Image J.	27
Gambar 3.18 Mengatur skala ukuran.....	27
Gambar 3.19 Mengukur pore size.	28
Gambar 3.20 Mendesain Menggunakan CAD	28
Gambar 3.21 Penyetingan parameter dalam <i>software slicer ultimaker cura</i>	29
Gambar 3.22 Proses pemasangan filament	29
Gambar 3.23 Proses Memasukan Memori	30
Gambar 3.24 Proses Pengeprint-an Spesimen.....	30
Gambar 3.25 Skema Mesin Uji Tekan.....	31

Gambar 4.1 Hasil Proses Printing.....	32
Gambar 4.2 Akurasi porositas	34
Gambar 4.4 Akurasi Panjang Sumbu X	37
Gambar 4.5 Akurasi Lebar Sumbu Y	39
Gambar 4.6 Akurasi Tinggi Sumbu Z	41
Gambar 4.7 Hasil pore size print cubic	42
Gambar 4.8 Hasil pore size print bcc	42
Gambar 4.9 Hasil pore size print fcc	43
Gambar 4.10 Hasil pore size print bccfcc	43
Gambar 4.11 Akurasi Pore Size	44
Gambar 4. 12 Pengujian tekan spesimen CUBIC.....	46
Gambar 4. 13 Pengujian tekan spesimen BCC.....	46
Gambar 4. 14 Pengujian Tekan FCC	47
Gambar 4.15 Pengujian Tekan BCCFCC	47
Gambar 4.16 Diagram Load dan Displacement Spesimen	48
Gambar 4. 17 Kurva tegangan dan regangan	48
Gambar 4. 18 Kurva <i>Compressive Modulus Elastisitas</i>	49
Gambar 4. 19 Kurva <i>Compressive Strenght</i>	50
Gambar 4. 20 Hasil Elongation Spesimen	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat mekanik Tulang Manusia	7
Tabel 2.2 Sifat Fisik dan Mekanis PLA.	13
Tabel 2.3 Spesifikasi <i>Filament Esun PLA+</i>	14
Tabel 3.1 Nilai Variabel Kontrol.....	16
Tabel 3.2 Struktural Propertis.....	17
Tabel 3.3 Mekanika Propertis.....	17
Tabel 3.4 Nilai Variabel Bebas	18
Tabel 4.1 Waktu Proses Print	32
Tabel 4.2 Perhitungan Mencari porositas dan akurasi.....	33
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Dimensi Panjang.....	36
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Dimensi Lebar	38
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Dimensi Tinggi.....	40
Tabel 4.6 Hasil Pore Size Desain dan Print	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Variasi Desain Perancah Tulang	56
Lampiran 2. Desain Perancah Tulang dengan CAD	57
Lampiran 3. Hasil Proses Print	58
Lampiran 4. Hasil Pengujian Tekan	59
Lampiran 5. ANOVA Satu Arah: Panjang dimensi print versus Jenis Struktur Berpori.....	60
Lampiran 6. Lembar Bimbingan dan Konsultasi	61
Lampiran 7. Lembar Revisi Ujian Tugas Akhir	67



DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

PLA	: <i>Polylactid Acid</i>
AM	: <i>Additive Manufacture</i>
CAD	: <i>Computer Aided Design</i>
STL	: <i>Stereolitography</i>
FDM	: <i>Fused Deposition Modelling</i>
TE	: <i>Tissue Engineering</i>
BCC	: <i>Body Centered Cubic</i>
OC	: <i>Octahedron</i>
FCC	: <i>Face Centered Cubic</i>

