



LAPORAN SKRIPSI

**DESAIN, MANUFAKTUR DAN ANALISA PERANCAH
TULANG BERBAHAN DASAR BIOCOMPOSITE
DENGAN METODE ADDITIVE MANUFACTURE**

RAYHAN NANDA REFAYA SARTONO

NIM. 201954084

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

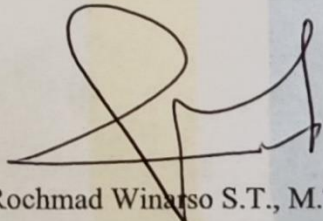
DESAIN, MANUFAKTUR DAN ANALISA PERANCAH TULANG BERBAHAN DASAR BIOCOMPOSITE DENGAN METODE ADDITIVE MANUFACTURE

RAYHAN NANDA REFAYA SARTONO

201954084

Kudus, 24 Juli 2023

Pembimbing Utama,



Rochmad Winarso S.T., M.T

NIDN. 0612037201

Pembimbing Pendamping,

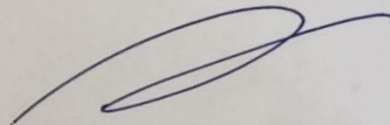


Qomaruddin S.T., M.T

NIDN. 0626097102

Mengetahui

Koordinator Skripsi/Tugas Akhir



Ratri Rahmawati S.T., M.Sc.

NIDN. 0613049403

HALAMAN PENGESAHAN

DESAIN, MANUFAKTUR DAN ANALISA PERANCAH TULANG BERBAHAN DASAR BIOCOMPOSITE DENGAN METODE ADDITIVE MANUFACTURE

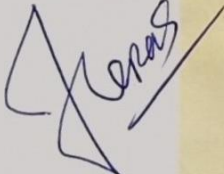
RAYHAN NANDA REFAYA SARTONO

NIM. 201954084

Kudus, 24 Juli 2023

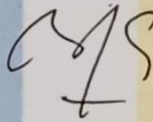
Menyetujui,

Ketua Penguji



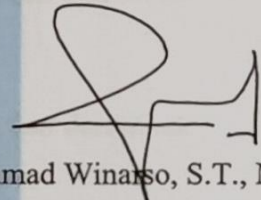
Hera Setiawan, S.T., M.T.
NIDN. 0611066901

Anggota Penguji I



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

Anggota Penguji II



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

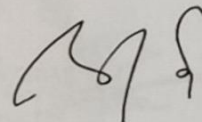
Mengetahui

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 : Rayhan Nanda Refaya Sartono
NIM : 201954084
Tempat & Tanggal Lahir : Pati, 25 November 2000
Judul Tugas Akhir : Desain, Manufaktur dan Analisa Perancah Tulang Berbahan Dasar Biocomposite 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 penulisan referensi yang sesuai.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian 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 maupun.

Kudus, 24 Juli 2023



Rayhan Nanda Refaya Sartono
201954084

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadiran 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 Perancah Tulang Berbahan Dasar Biocomposite 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 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 PERANCAH TULANG
BERBAHAN DASAR BIOCOMPOSITE DENGAN METODE ADDITIVE
MANUFATURE**

Nama mahasiswa : Rayhan Nanda Refaya Sartono

NIM : 201954084

Pembimbing :

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

2. Qomaruddin S.T.,M.T

RINGKASAN

Penyumbangan tingginya patah tulang atau faktur adalah kecelakaan lalu lintas,cedera, atau oleh penyakit. Maka diperlukan cangkok tulang untuk mendorong penyembuhan tulang. Dengan ada nya perkembangan teknologi manufaktur dan material saat ini telah dibuat biokomposit material dengan kelebihan tanpa pengambilan pasca pencangkokan tulang, mengurangi pengeluaran biaya, traumatik penderita, aman, serta tanpa nyeri. Didukung perkembangan modern yang canggih saat ini yaitu additive Manufacture atau proses pembuatan objek 3D dalam bentuk apa pun menggunakan mesin 3D Printing.

Pada penelitian ini menggunakan 2 bahan yaitu filament PLA Pro Flashforge dan filament PLA Biomaterial dengan menggunakan metode penelitian 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 yang mendekati sifat mekanik tulang adalah Voronoi 07425 dan Voronoi 064 dari bahan PLA Biokomposit. Sedangkan dari PLA Flashforge Voronoi 07425 dan Voronoi 064.

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

**DESIGN, MANUFACTURING AND ANALYSIS OF BIOCOMPOSITE
BASED BONE SCAFFOLDING USING ADDITIVE MANUFACTURE
METHODS**

Nama mahasiswa : Rayhan Nanda Refaya Sartono

NIM : 201954084

Pembimbing :

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

2. Qomaruddin S.T.,M.T

ABSTRACT

The high contribution of fractures or fractures is a traffic accident, injury, or by disease. Then a bone graft is needed to promote bone healing. With the current developments in manufacturing technology and materials, biocomposite materials have been made with the advantages of not taking post-bone grafting, reducing costs, traumatic for the patient, safe, and painless. It is supported by today's sophisticated modern developments, namely additive manufacturing or the process of making 3D objects in any form using a 3D printing machine.

This study used 2 materials, namely PLA Pro Flashforge filament and PLA Biomaterial filament using research methods starting from literature studies, designing bone scaffold microarchitecture, manufacturing processes, testing processes, data collection, data analysis, discussion and conclusions.

The results showed that the bone scaffolds designed to approximate the mechanical properties of bone were Voronoi 07425 and Voronoi 064 from PLA Biocomposite material. Meanwhile, from PLA Flashforge Voronoi 07425 and Voronoi 064.

Keywords: Biocomposite, 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 ISTILAH DAN SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Additive Manufacture.....	5
2.2.1. Teknik Manufaktur Aditif.....	5
2.2.2. <i>Three Dimensional Printing</i> (3DP).....	5
2.2.3. <i>Selective Laser Sintering</i> (SLS).....	6
2.2.4. <i>Stereolithography</i> (SLA).....	7
2.2.5. <i>Fused Deposition Modelling</i> (FDM).....	7
2.2 3D Printer Dalam Rekonstruksi Pembuatan Perancah Tulang	8
2.2.1. Rekayasa Jaringan Perancah Tulang.....	8
2.2.2. Metode Pergantian Tulang yang Sering Digunakan	9
2.2.3. Sifat Mekanik Tulang Manusia.....	9
2.2.4. Karakteristik Bahan Perancah Tulang.....	10
2.3 Rancangan Desain Perancah Tulang	11
2.3.1. Desain Perancah	11
2.3.2. Desain Parametrik	11
2.4 Bahan yang digunakan dalam Rekonstruksi Jaringan Tulang.....	13
2.4.1. Bahan Polimer.....	13

2.4.2.	Filament Flashforge PLA Pro	16
2.4.3.	Filament Biocomposite	17
BAB III	METODOLOGI	18
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	18
3.2	Variabel Penelitian	19
3.3	Identifikasi Nilai Variabel Bebas	19
3.4	Identifikasi Nilai Variabel Terikat	20
3.5	Identifikasi Nilai Variabel Kontrol.....	22
3.6	Desain Perancah Tulang	23
3.7	Persiapan Proses Manufaktur	25
3.8	Tahapan Proses Manufaktur	28
3.9	Tahapan Mencari Porositas	31
3.8	Langkah Mencari Pore Size	33
3.9	Prosedur Proses Pengujian Tekan	36
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1	Hasil Cetak Spesimen 3D Printing.....	38
4.2	Hasil Struktural Propertis 3D Printing	39
4.2.1	Hasil Perhitungan Porositas	39
4.2.2	Pembahasan Hasil Porositas.....	43
4.2.3	Hasil Pengukuran Panjang Sumbu (X)	45
4.2.4	Hasil Pengukuran Lebar Sumbu (Y)	49
4.2.5	Hasil Pengukuran Panjang Sumbu (Z).....	53
4.2.6	Hasil <i>Image Processing</i>	57
4.2.7	Pembahasan Hasil Struktural Propertis	60
4.3	Hasil Mekanika Propertis	62
4.4	Hasil Pengujian Tekan Spesimen	62
4.5	Diagram <i>Load</i> dan <i>Displacement</i> Spesimen	64
4.6	Hasil Tegangan dan Regangan	65
4.7	Hasil <i>Modulus Elastisitas</i>	66
4.8	Hasil <i>Compressive Strength</i>	68
4.9	Hasil <i>Elongation</i>	69
4.10	Pembahasan Hasil Mekanika Propertis.....	71
BAB V	PENUTUP	75
5.1	Kesimpulan.....	75
5.2	Saran	76

DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN.....	80
BIODATA PENULIS.....	92



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema proses Pencetakan Tiga Dimensi.....	6
Gambar 2. 2 Skema proses Selective laser sintering/SLS	6
Gambar 2. 3 Skema Proses Stereolithography/SLA	7
Gambar 2. 4 Skema Proses Fused Deposition Modelling/FDM	8
Gambar 2. 5 Tulang Trabekular	10
Gambar 2. 6 Desain parametrik Voronoi	12
Gambar 2. 7 Klasifikasi <i>TPMS</i>	13
Gambar 2. 8 Filament Flashforge PLA Pro	16
Gambar 2. 9 Proses Pembuatab Filament PLA+PCL+HA.	17
Gambar 3. 1 Diagram alir penyusunan	18
Gambar 3. 2 Desain Struktur perancah tulang	24
Gambar 3. 3 <i>Filament Flashforge PLA Pro</i>	25
Gambar 3. 4 Filament Biocomposite	25
Gambar 3. 5 3D Printing Creality Ender 5.....	26
Gambar 3. 6 Mesin <i>Universal Testing Machine</i>	26
Gambar 3. 7 <i>Mikroskop Stereo Binokular</i>	27
Gambar 3. 8 Laptop <i>Legion Y530 I5</i>	27
Gambar 3. 9 <i>Software Ptc Creo Parametric</i>	27
Gambar 3. 10 <i>Slicer Ultimaker Cura 5.3.1</i>	28
Gambar 3. 11 Mendesain Spesimen Menggunakan CAD.	28
Gambar 3. 12 Membuat File G-code menggunakan Ultimaker Cura 5.3.1	29
Gambar 3. 13 Memasukkan MicroSD ke Mesin 3D Printer.....	29
Gambar 3. 14 Menyiapkan Mesin 3D Printer.	30
Gambar 3. 15 Melilih File yang akan diprint.....	30
Gambar 3. 16 Mesin 3D printer Mulai Proses Printing	31
Gambar 3. 17 Mendesain Spesimen Perancah Tulang.....	32
Gambar 3. 18 Mengubah Material Pada Software	32
Gambar 3. 19 Mengidentifikasi Volume Spesimen	33
Gambar 3. 20 Mengitung Porositas dengan Microsoft Excel	33
Gambar 3. 21 Menyimpan Desain dengan Format JPG.....	34

Gambar 3. 22 Membuka Gambar di Software ImageJ.....	34
Gambar 3. 23 Mengkalibrasi Skala Ukuran	35
Gambar 3. 24 Mengukur pore Size	36
Gambar 3. 25 Skema Mesin Pengujian Tekan	37
Gambar 4. 1 Hasil Percetakan 3D	38
Gambar 4. 2 Akurasi Porositas Menggunakan PLA Flashforge	40
Gambar 4. 3 Akurasi Porositas Menggunakan Filament Biocomposite	42
Gambar 4. 4 Akurasi Panjang Sumbu X PLA Flashforge	46
Gambar 4. 5 Akurasi Panjang Sumbu X PLA Biocomposite	48
Gambar 4. 6 Akurasi Lebar Sumbu Y PLA Flashforge	50
Gambar 4. 7 Akurasi Lebar Sumbu Y PLA Biocomposite.....	52
Gambar 4. 8 Akurasi Tinggi Sumbu Z PLA Flashforge	54
Gambar 4. 9 Akurasi Tinggi Sumbu Z PLA Biocomposite	56
Gambar 4. 10 Hasil Pore Size Print Voronoi 07425	57
Gambar 4. 11 Hasil Pore Size Print Voronoi 064	58
Gambar 4. 12 Hasil Pore Size Print Voronoi 05375	58
Gambar 4. 13 Hasil Pore Size Print Voronoi 0435	59
Gambar 4. 14 Akurasi Pore Size Desain dan Print	60
Gambar 4. 15 Pengujian Tekan Voronoi 07425.....	62
Gambar 4. 16 Pengujian Tekan Voronoi 064.....	62
Gambar 4. 17 Pengujian Tekan Voronoi 05375.....	63
Gambar 4. 18 Pengujian Tekan Voronoi 0435.....	63
Gambar 4. 19 Diagram <i>Load</i> dan <i>Displacement</i> Spesimen PLA Flashforge.....	64
Gambar 4. 20 Diagram <i>Load</i> dan <i>Displacement</i> Spesimen PLA Biocomposite ..	64
Gambar 4. 21 Kurva Tegangan dan Regangan PLA Flashforge.....	65
Gambar 4. 22 Kurva Tegangan dan Regangan PLA Biocomposite	65
Gambar 4. 23 Kurva <i>Modulus Elastisitas</i> PLA Flashforge.....	66
Gambar 4. 24 Kurva <i>Modulus Elastisitas</i> PLA Biocomposite	67
Gambar 4. 25 Kurva <i>Compressive Strength</i> PLA Flashforge	68
Gambar 4. 26 Kurva <i>Compressive Strength</i> PLA Biocomposite.....	68
Gambar 4. 27 Hasil <i>Elongation</i> Spesimen PLA Flashforge	69
Gambar 4. 28 Hasil <i>Elongation</i> Spesimen PLA Biocomposite	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat mekanik tulang manusia	10
Tabel 2. 2 Sifat Fisik dan Mekanis PLA.	14
Tabel 2. 3 sifat fisik dan mekanis <i>poly-caprolactone</i> (PLA).	15
Tabel 2. 4 Spesifikasi <i>Filament Flashforge PLA Pro</i>	16
Tabel 3. 1 Nilai Variabel Bebas	19
Tabel 3. 2 Struktural Propertis	20
Tabel 3. 3 Mekanika Propertis PLA Flashforge.....	21
Tabel 3. 4 Mekanika Propertis PLA Biocomposite	21
Tabel 3. 5 Nilai Variabel Kontrol	22
Tabel 4. 1 Waktu Printing	38
Tabel 4. 2 Perhitungan Porositas dan akurasi Spesimen PLA Pro Flashforge.....	39
Tabel 4. 3 Perhitungan Porositas dan akurasi Spesimen PLA Biocomposite	41
Tabel 4. 4 ANOVA satu arah: Porositas Print versus Spesimen PLA Flashforge	43
Tabel 4. 5 ANOVA satu arah: Porositas Print versus Spesimen PLA Biocomposite	43
Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran Dimensi Panjang PLA Flashforge	45
Tabel 4. 7 Hasil Pengukuran Dimensi Panjang PLA Biocomposite.....	47
Tabel 4. 8 Hasil Pengukuran Dimensi Lebar PLA Flashforge	49
Tabel 4. 9 Hasil Pengukuran Dimensi Lebar Biocomposite	51
Tabel 4. 10 Hasil Pengukuran Dimensi Tinggi PLA Flashforge	53
Tabel 4. 11 Hasil Pengukuran Dimensi Tinggi PLA Biocomposite	55
Tabel 4. 12 Perbedaan dimensi pada Proses <i>Additive Manufacturing</i>	57
Tabel 4. 13 Hasil Pore Size Desain dan Print	59
Tabel 4. 14 Perbandingan Sifat Tulang dan Hasil Pengujian PLA Flashforge.....	72
Tabel 4. 15 Perbandingan Sifat Tulang dan Hasil Pengujian PLA Biocomposite	72

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

AM	: Additive Manufacturing
3DO	: Three Dimensional Printing
SLS	: Selective Laser Sintering
SLA	: Stereolithography
FDM	: Fused Deposition Modelling
CAD	: Computer Aided Design
TE	: Tissue Engineering
ECM	: Extracellular Matrix
PLA	: Polylactid Acid
PCL	: Poly-caprolactone
HA	: Hydroxyapatite