

**TESIS**

**STUDI NILAI OPTIMUM PARAMETER PROSES  
FABRIKASI MESIN EKTRUSI TEHADAP KUALITAS  
FILAMEN BOKOMPOSIT**



**NANDA YUSRIL MAHENDRA**

03032682125004

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2023**

## **TESIS**

# **STUDI NILAI OPTIMUM PARAMATER PROSES FABRIKASI MESIN EKTRUSI TEHADAP KUALITAS FILAMEN BOKOMPOSIT**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik**



**NANDA YUSRIL MAHENDRA**  
03032682125004

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2023**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**STUDI NILAI OPTIMUM PARAMETER PROSES**  
**FABRIKASI MESIN EKTRUSI TEHADAP**  
**KUALITAS FILAMEN BIOKOMPOSIT**

**TESIS**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Mendapatkan Gelar Magister Teknik Mesin  
Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

**NANDA YUSRIL MAHENDRA**

**NIM. 03032682125004**

Palembang, 30 Mei 2022

Menyetujui  
Pembimbing

Prof. Dr. Ir. H. Hasan Basri  
NIP. 195802011984031002

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya



Prof. Dr. Eng. I. H. Joni Arliansyah, M.T  
NIP. 196706151995121002

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Irsyad Tani, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 197112251997021001


## HALAMAN PERSETUJUAN

Tesis dengan judul “STUDI NILAI OPTIMUM PARAMATER PROSES FABRIKASI MESIN EKTRUSI TEHADAP KUALITAS FILAMEN BIODKOMPOSIT” telah diseminarkan di hadapan Tim Penguji Seminar Tesis Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 17 Desember 2022 dan dinyatakan sah untuk melakukan penelitian lebih lanjut.

Palembang, 30 Mei 2023

Pembimbing:

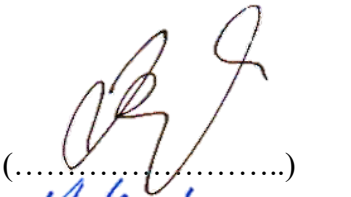
1. Prof. Dr. Ir. Hasan Basri  
NIP. 195802011984031002




(.....)

Tim Penguji Seminar Proposal:

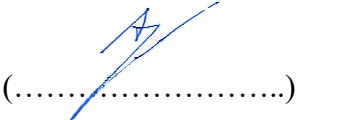
1. Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D  
NIP. 197112251997021001
2. Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T  
NIP. 196004071990031003
3. Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 197112251997021001



(.....)

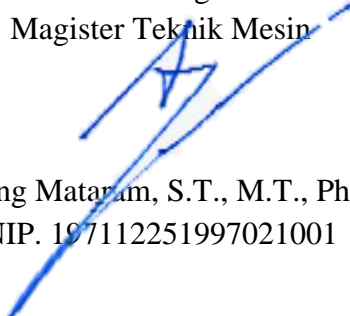


(.....)



(.....)

Koordinator Program Studi  
Magister Teknik Mesin



Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 197112251997021001

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**Agenda No. :  
Diterima Tanggal :  
Paraf :**

**TESIS**

**NAMA : Nanda Yusril Mahendra  
NIM : 03032682125004  
JURUSAN : Teknik Mesin  
BIDANG STUDI : Perancangan Mesin  
JUDUL SKRIPSI : Optimasi Paramater Proses Fabrikasi Mesin  
Ektrusi Terhadap Kualitas Filamen Biokomposit  
DIBUAT TANGGAL : Mei 2023  
SELESAI TANGGAL : Mei 2023**

Palembang, 30 Mei 2023

Menyetujui  
Pembimbing

**Prof. Dr. Ir. H. Hasan Basri**  
NIP. 195802011984031002

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Irsyadi Tani, S.T., M.Eng., Ph.D.**  
NIP. 197112251997021001

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nanda Yusril Mahendra

NIM : 03032682125004

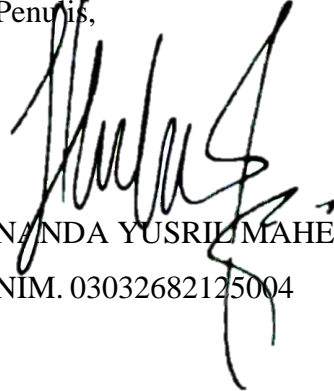
Judul : Studi Nilai Optimum Paramater Proses Fabrikasi Mesin Ektrusi terhadap Kualitas Filamen Biokomposit.

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, 30 Mei 2023

Penuis,

  
NANDA YUSRIL MAHENDRA  
NIM. 03032682125004

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nanda Yusril Mahendra

NIM : 03032682125004

Judul : Optimasi Paramater Proses Fabrikasi Mesin Ektrusi Terhadap Kualitas Filamen Biokomposit

Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, 30 Mei 2023



[Nanda Yusril Mahendra]

## RINGKASAN

### STUDI NILAI OPTIMUM PARAMETER PROSES FABRIKASI MESIN EKTRUSI TEHADAP KUALITAS FILAMEN BIOKOMPOSIT

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, 30 Mei 2023

Nanda Yusril Mahendra Dibimbing Oleh Prof. Dr. Ir. H. Hasan Basri.

*Optimization of Process Parameters Extrusion Machine Fabrication on the Quality of Biocomposite Filaments*

xxvi + 86 halaman, 19 Tabel, 35 Gambar

### RINGKASAN

Parameter fabrikasi mesin ekstrusi memiliki peranan penting dalam menghasilkan kualitas filamen sesuai dengan standar yakni, 1,75 mm. Kualitas filamen dibutuhkan dikarenakan akan mempengaruhi hasil cetakan pada saat digunakan pada mesin cetak 3D. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan investigasi dan analisa pengaruh parameter fabrikasi mesin ekstrusi serta melakukan optimalisasi untuk menghasilkan filamen dengan diameter 1,75 mm. Material yang digunakan dalam menghasilkan filamen biokomposit adalah Pellet PLA- Serbuk Mg- dan cairan DCM. Metode yang digunakan yaitu dengan pengujian ekperimental dan analisa data menggunakan metode ANOVA (analysis of varians) dengan 3 *factorial design* menggunakan 3 *level*. Proses analisa anova menggunakan bantuan software *design expert version 13*. Sedangkan Alat ukur yang dipakai dan sebagai alat uji dalam mengukur diameter filamen adalah *jangka sorong digital mitutoyo*. Parameter yang digunakan pada penelitian adalah putaran screw, temperatur, dan putaran kipas. Hasil analisa data menunjukkan bahwa model eksperimen yang dilakukan memiliki pengaruh terhadap diameter filamen. Sedangkan parameter yang memiliki pengaruh signifikat adalah kecepatan *screw*, putaran kipas, dan interaksi antar faktor BC (temperatur pemanasan, putaran kipas). Dari keseluruhan parameter yang dianalisa, pengaruh terbesar terdapat pada parameter putaran *screw* dengan persentase kontribusi sebesar 20%, yang kedua adalah interaksi parameter BC (temperatur pemanasan, putaran kipas) dengan persentase 12%, sedangkan yang ketiga adalah parameter putaran kipas dengan persentase kontribusi 7%. Pada nilai optimal parameter berada pada kecepatan screw pada 20,25 rpm, temperatur pada 248,30 °C, dan putaran kipas pada 99,81 rpm, dengan tingkat kepercayaan 100%.

**Kata kunci:** Filamen, biokomposit, ekstrusi 3D printer, ANOVA



## SUMMARY

*Study Of Optimum Value Of Extrusion Machine Fabrication Process Parameters On The Quality Of Biocomposite Filaments*

Scientific papers in the form of a thesis, Mei 2023

Nanda Yusril Mahendra; Supervised by Prof. Dr. Ir. H. Hasan Basri..

Optimasi Paramater Proses Fabrikasi Mesin Ektrusi Terhadap Kualitas Filamen Biokomposit

xxvi + 88 pages, 19 table, 35 pictures

### SUMMARY

The extrusion machine fabrication parameter has an important role in producing filamen quality according to the standard, namely 1.75 mm. Filamen quality is needed because it will affect the printout when used in a 3D printing machine. The purpose of this research is to investigate and analyze the influence of extrusion machine fabrication parameters and optimize it to produce filamen with a diameter of 1,75 mm. The materials used in producing biocomposite filaments are PLA Pellets-Mg-Powder and DCM liquid. The method used is experimental testing and data analysis using the ANOVA (analysis of variance) method with 3 factorial designs using 3 levels. The ANOVA analysis process uses the help of software design expert version 13. Meanwhile, the measuring instrument used and as a test tool in measuring filament diameter is the mitutoyo digital caliper. The parameters used in this research are screw rotation, temperature, and fan rotation. The results of the data analysis show that the experimental model has an effect on the diameter of the filamen, while the parameters that have a significant influence are screw speed, fan rotation, and the interaction between BC factors (heating temperature, fan rotation). Of all the parameters analyzed, the biggest influence is on the screw rotation parameter with a contribution percentage of 20%, the second is the interaction of BC parameters (heating temperature, fan rotation) with a percentage of 12%, while the third is the fan rotation parameter with a contribution percentage of 7%, screw speed at 20.25 rpm, temperature at 248.3 °C, and fan speed at 99.81 rpm, with 100% confidence level.

**Keyword** : Filamen, biokomposit, extrusion, 3D printer, ANOVA

## KATA PENGANTAR

Pertama, penulis mengucapkan syukur dan berterima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan segala rahmat, karunia, dan anugerah-Nya sehingga tesis ini dapat diselesaikan. Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan proposal tesis ini, adapun pihak tersebut:

1. Keluarga Penulis, kedua Orang tua yang selalu memberikan dukungan moral dan materi serta doanya yang tulus membimbing, mengarahkan, mendidik dan memotivasi penulis dari awal hingga selesainya proposal tesis ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Hasan Basri selaku Dosen Pembimbing Utama Tesis dan Bapak Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D selaku Koordinator Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang dimana semuanya dengan ikhlas dan tulus telah membimbing, mengarahkan, mendidik, memotivasi serta banyak memberikan sarana kepada penulis dari awal hingga selesainya tesis ini.
3. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D dan Bapak Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T selaku Tim Penguji Proposal Tesis Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang juga memberikan bimbingan serta arahan dalam ruang lingkup Jurusan Teknik Mesin.
4. Bapak Agung Kristian selaku Staf Administrasi Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah banyak membantu dalam proses administrasi.
5. Rekan-rekan Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dan Rekan sesama peneliti yang mengambil fokus di bidang topik penelitian yang sama yakni, Dr (Cand). Akbar Teguh Prakoso, S.T., M.T., Imam Akbar, S.T., M.T., Rizky Utama Putra, S.T., M.T., dan Nanda Yusril Mahendra, S.Tr.T yang telah membantu saya dalam

menjalankan penelitian, menyusun proposal tesis sehingga bersama-sama Kami di berbagai kondisi suka dan duka.

Dalam penulisan tesis ini, penulis sadar masih terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran serta masukan yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk membantu dalam perbaikan. Penulis juga mengharapkan tesis dengan judul “STUDI NILAI OPTIMUM PARAMATER PROSES FABRIKASI MESIN EKTRUSI TEHADAP KUALITAS FILAMEN BIODKOMPOSIT” dapat memberikan manfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia serta menjadi referensi bagi yang akan mengkaji di bidang topik penelitian yang sama dimasa yang akan datang.

Palembang, 30 Mei 2023

Penulis

Nanila Yusril Mahendra

NIM. 03032622024004



## DAFTAR ISI

	Hal
<b>TESIS</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>JURUSAN TEKNIK MESIN    Agenda No. :</b> .....	<b>ix</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> .....	<b>xi</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>xv</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xvii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Khusus Penelitian.....	4
1.5 Urgensi Penelitian .....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Tinjauan Studi Literatur .....	7
2.2 <i>State of the Art</i> penelitian (SOTA).....	15
2.3 Rapid Prototyping .....	20
2.4 Filamen Extruder.....	21
2.5 Proses Ekstrusi .....	22
2.6 Fused Deposition Modelling (FDM).....	24
2.7 PLA sebagai Material Perancah Tulang.....	26
2.8 Magnesium .....	27
2.9 Vitamin E ( <i>α-tocopherol</i> ).....	28
2.10 Proses Produksi Filamen .....	30

2.12 Metode ANOVA ( <i>Analysis of Varians</i> ) .....	32
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>33</b>
3.1 Pendekatan Umum.....	33
3.2 Desain Penelitian .....	34
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	35
3.4 Studi Literatur.....	36
3.5 Desain Mesin Eksrusi .....	38
3.6 Variable Parameter Penelitian .....	38
3.7 Desain Eksperimen Faktorial .....	39
3.8 Prosedur Penelitian.....	41
3.9 Hasil Luaran Penelitian .....	55
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>59</b>
4.1 Data Hasil Pengujian Ekperimental.....	59
4.2 Analisa Data dengan Menggunakan Metode Anova .....	60
4.3 Analisa Variabel/Faktor yang Berpengaruh .....	63
4.4 Validasi dari Model .....	69
4.5 Faktor-Faktor yang Berpengaruh terhadap Diameter Filamen.....	73
4.6 Optimasi Desain .....	77
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>81</b>
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran.....	81
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>83</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2. 1 Diagram alir.....	10
Gambar 2. 2 <i>State of the Art</i> penelitian (SOTA).....	19
Gambar 2. 3 Bagian-bagian utama pada extruder (Whulanza, 2017) .....	21
Gambar 2. 4 Geometri parameter <i>screw</i> (Whulanza, 2017).....	22
Gambar 2. 5 Ilustrasi proses ekstrusi plastik.....	23
Gambar 2. 6 Diagram skematis mesin FDM (Hossain et al., 2014).....	24
Gambar 2. 7 Parameter proses FDM (Hossain et al., 2014).....	25
Gambar 2. 8 Parameter proses FDM (Hossain et al., 2014).....	25
Gambar 2. 9 Perancah <i>polylactic acid (PLA)</i> .....	27
Gambar 2. 10 Vitamin E .....	29
Gambar 2. 11 Struktur kimia $\alpha$ –tokoferol (.....)	29
Gambar 2. 12 Tipikal pengering tipe <i>dual-bed regenerative desiccant</i> s .	30
Gambar 2. 13 Geometri umum <i>screw</i> pada <i>single screw extruder</i> .....	31
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	35
Gambar 3. 2 Desain Mesin Ekstrusi.....	38
Gambar 3. 3 Proses assembly mesin ekstrusi.....	42
Gambar 3. 4 Sistemika Wiring Controller.....	42
Gambar 3. 5 <i>Powder Strainer</i> .....	46
Gambar 3. 6 Timbangan Digital Portable .....	46
Gambar 3. 8 Menentukan jumlah faktor, level dan replikasi .....	52
Gambar 3. 9 Menentukan nama faktor dan level .....	53
Gambar 3. 10 Contoh hasil nilai optimasi.....	57
Gambar 3. 11 Contoh grafik 3D RSM ( <i>Response Surface Methodology</i> )	58
Gambar 4. 1. Mesin ekstrusi filamen .....	59
Gambar 4. 2. Spesimen Pengujian (filamen).....	61
Gambar 4. 3 Persentase kontribusi faktor terhadap diameter filamen .....	65
Gambar 4. 4 Grafik-Half-Normal.....	66
Gambar 4. 5. Grafik Pareto .....	67
Gambar 4. 6. Grafik residual identik.....	71

Gambar 4. 7. Grafik residual independen.....	72
Gambar 4. 8. Grafik prediksi vs actual .....	73
Gambar 4. 9. Grafik pengaruh masing-masing faktor.....	74
Gambar 4. 10. Grafik hubungan interaksi faktor.....	76
Gambar 4. 11. Grafik 3D surface interkasi faktor .....	77
Gambar 4. 12. Nilai optimum faktor terhadap response .....	78



## DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2. 1 Proses pemilihan artikel berdasarkan inklusi dan eksklusi .....	9
Tabel 2. 2 Artikel Review .....	11
Tabel 2. 3 Parameter perancangan <i>screw</i> .....	21
Tabel 3. 1 Tabel Morfolgi Mesin Ekstrusi .....	37
Tabel 3. 2 Tabel Pemilihan Konsep .....	37
Tabel 3. 3 Faktor-Faktor Eksperimen.....	39
Tabel 3. 4 Desain Ekperimental Kombinasi Parameter .....	40
Tabel 3. 5 Spesifikasi Bahan PLA.....	44
Tabel 3. 6 Spesifikasi Bahan Magnesium Powder .....	45
Tabel 3. 7 ANOVA table for a balanced two-way .....	51
Tabel 3. 9 Contoh Hasil <i>Anova</i> .....	55
Tabel 4. 1. Data hasil pengujian eksperimen .....	60
Tabel 4. 2. Data pengujian <i>Anova</i> .....	62
Tabel 4. 3. Rata-rata. Standar deviasi dan rasio. ....	63
Tabel 4. 4. Rata-rata. Standar deviasi dan rasio. ....	63
Tabel 4. 5. Analisis varians rata-rata diameter filamen.....	64
Tabel 4. 6. Residual nilai uji aktual dan prediksi .....	69
Tabel 4. 7. Optimasi desain terhadap nilai optimun dari respon .....	78





# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang masih mengimpor alat kesehatan lebih dari 92% pada tahun 2015 dengan nilai sekitar 726 juta USD ((Mahyudin & Hermawan, 2016). Menurut Business Monitor International (BMI), kebutuhan alat kesehatan di Indonesia diproyeksikan akan meningkat pada tahun 2017-2022 (Pepsi Maryarini, 2020). Tingkat pertumbuhan tahunan rata-rata (CAGR) kebutuhan alat kesehatan di Indonesia mencapai 9.6% dengan nilai 1.5 miliar USD pada tahun 2022. Kegiatan impor ini didominasi oleh peralatan diagnostik, produk obat-obatan dan peralatan implan ortopedi. Hal ini menyebabkan harga implan ortopedi menjadi mahal. Untuk mengatasi kondisi tersebut, Indonesia telah mengembangkan salah satu jenis produk implan fiksasi tulang berbahan lokal dari stainless steel (SS 316L) (Agus Hadi Sentosa (BPPT), 2022). Produksi implan fiksasi tulang berbahan lokal dilakukan dalam upaya menghadapi era revolusi Industri 4.0 (*Dorong Inovasi Alkes Buatan Lokal, Menteri Kesehatan: Implant Traumatik Inovasi BPPT Berkualitas Tinggi.*).

Pada bidang kesehatan, pembuatan implan biomedis menggunakan teknik AM telah menarik perhatian peneliti. Metode ini menawarkan pembuatan implan atau jaringan tubuh yang menyerupai bentuk organ tubuh alami dari pasien berdasarkan hasil pemindaian Computed Tomography Scanner (CT-Scan) (Alam et al., 2020). Saat ini, filamen printer 3D dapat diproduksi dengan berbagai bahan polimer bio-degradable seperti polylactic acid (PLA), acrylonitrile butadiene styrene (ABS), polyvinyl alcohol (PVA), polyamide (Nylon) dan lain sebagainya. Di antara bahan-bahan tersebut, PLA menjadi pilihan utama sebagai filamen karena mempunyai sifat mekanik dan kimia yang baik serta ramah lingkungan (Ertane et al., 2018).

Material biodegradable telah mendapat perhatian khusus dalam beberapa tahun terakhir untuk aplikasi rekayasa jaringan dikarenakan tidak diperlukan proses operasi kedua untuk pengambilan implan kembali setelah penyembuhan (Temenoff dan Mikos, 2000; Sheikh et al., 2015; Godavitarne et al., 2017). Salah satu material

polymer yang memiliki potensi sebagai alternatif perancah tulang adalah polylactic acid (PLA). Polylactic acid (PLA) memiliki kriteria biokompatibel (da Silva et al., 2018) yang telah banyak digunakan untuk pembalut luka, fiksasi jaringan, operasi kraniomaksilofasial dan patah tulang (Maurus dan Kaeding, 2004). Namun terdapat kelemahan pada material PLA yaitu proses degradasi yang membutuhkan waktu yang cukup panjang. Selain itu, akumulasi produk asam selama degradasi tidak selalu mendukung integrasi jaringan (Rokkanen et al., 2000). Dalam mengatasi masalah tersebut maka diperlukan material yang memiliki sifat degradable yang baik yaitu Magnesium (Mg). partikel Mg akan memiliki sifat degradasi yang jauh lebih singkat jika dibandingkan dengan PLA (Zhao et al., 2017b; Li et al., 2021). Sehingga sifat ini memiliki kriteria dalam perancah tulang.

PLA merupakan salah satu polimer termoplastik yang paling populer untuk pencetakan 3D melalui metode fabrikasi filamen (Tyler et al., 2016). Teknik ini memungkinkan pembuatan perancah tulang dan implan khusus dari gambar medis tomografi dengan batuan komputer dalam ortopedi dan trauma tology (Auricchio dan Marconi, 2016). Produksi filamen biokomposit paduan untuk pencetakan 3D dapat dilakukan melalui proses ekstrusi pelet PLA/Mg yang diproduksi menggunakan mesin ekstruder konvensional (Antoniac et al., 2019) atau melalui rute koloid (Ferrández-Montero et al., 2019, 2020). Namun demikian, filamen yang dihasilkan belum optimal untuk pencetakan 3D dikarenakan terdapat beberapa permasalahan. Permasalahan pertama meliputi distribusi partikel yang tidak homogen dalam filamen yang menyebabkan porositas (Díaz-García et al., 2020). Permasalahan selanjutnya adalah ukuran diameter filamen yang tidak sesuai standar dan konstan sehingga menimbulkan permasalahan pada proses pencetakan ketika filamen dimasukkan ke dalam nozzle ekstrusi dari 3D printer.

Tantangan utama fabrikasi perancah tulang menggunakan *3D printer* tipe *FDM* adalah keterbatasan jenis material filamen yang tersedia secara komersial di pasaran. Jenis filamen yang tersedia di pasaran didominasi oleh filamen dengan jenis biopolimer [15]. Kelemahan material biopolimer ini antara lain kurangnya kemampuan sitokompatibilitas dan osteokonduktivitas sehingga tidak memungkinkan digunakan untuk pembuatan perancah tulang yang ideal [15,16]. Untuk mengatasi hal ini solusi alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan

memadukan material PLA dengan Magnesium (Mg) dengan metode ekstrusi yang menghasilkan filamen biokomposit.

Merujuk pada latar belakang di atas, belum diketahui parameter mesin yang optimal untuk menghasilkan filamen PLA yang baik. Baik di sini dikategorikan seperti diameter filamen yang konstan sehingga sesuai dengan dimensi filamen yang digunakan pada proses pencetakan 3D Printer FDM yaitu 1,75 mm. Penelitian ini diharapkan mampu membantu menemukan parameter proses optimal dari mesin filamen ekstruder ini agar mampu menciptakan filamen biokomposit PLA/Mg yang layak pakai, dan memiliki karakteristik mendekati filamen asli produksi industri.

## 1.2 Rumusan Masalah

Teknologi rapid prototyping (RP) telah mengalami perkembangan pesat selama beberapa waktu terakhir. Banyak metode yang berkembang salah satunya ialah fused deposition modeling (FDM). Dalam metode FDM, bahan yang dipakai untuk mencetak model salah satunya dapat menggunakan polylactic acid (PLA). PLA dapat diklasifikasikan sebagai kandidat biomaterial yang baik karena sifatnya biokompatibilitas, *biodegradable* dan mudah difabrikasi (Nair & Laurencin, 2007; Vroman & Tighzert, 2009). Namun PLA memiliki kelemahan yakni laju degradasi sangat lambat dan tidak bersifat bioaktif. Dalam menghadapi permasalahan tersebut maka ditambahkan material yaitu magnesium (Mg). Mg dianggap sebagai logam mampu luruh (*biodegradable*) yang berpotensi sebagai kandidat biomaterial. Mg dapat terurai secara biologis tanpa menyebabkan masalah toksikologis. Selain itu, Mg dapat menginduksi efek stimulasi dalam pertumbuhan tulang karena mampu membantu pembentukan kristal hidroksiapatit (HA) (Bigi et al., 1993; Staiger et al., 2006; Zhang et al., 2014). Namun material ini memiliki kelemahan yaitu laju degradasinya yang cepat. Sehingga ketika PLA dan Mg dipadukan dengan komposisi yang tepat untuk fabrikasi perancah tulang, maka fenomena degradasi secara *in-vivo*, Mg akan melepas ion yang mampu meningkatkan regenerasi jaringan tulang sementara PLA berfungsi sebagai penyangga sementara sampai tulang sembuh sepenuhnya.

Oleh karena itu dibutuhkan sebuah mesin ekstrusi yang mampu memadukan material PLA dan Mg untuk memproduksi filamen biokomposit. Disamping itu

setelah mesin ekstrusi berhasil dirancang, maka tahap selanjutnya adalah melakukan optimasi setiap parameter fabrikasi agar menghasilkan filamen yang memiliki standar kualitas sesuai dengan standar yaitu 1,75 mm. Dalam penerapan nantinya, filamen biokomposit PLA/Mg nantinya diperlukan untuk memfabrikasi perancah tulang sehingga mampu meningkatkan stimulasi pertumbuhan jaringan tulang.

Berdasarkan penjelasan di atas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh metode pencampuran bahan PLA/Mg terhadap filamen biokomposit.
2. Bagaimana melakukan optimalisasi parameter fabrikasi mesin ekstrusi untuk menghasilkan filamen biokomposit dengan ketebalan 1,75 mm.

### 1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam tesis ini tidak jauh dari penelitian yang dilakukan sehingga lebih terarah dan terfokus, untuk itu disusunlah suatu batasan masalah dalam penulisannya yaitu:

1. Mesin yang digunakan adalah mesin ekstrusi untuk proses fabrikasi filamen biokomposit PLA/Mg.
2. Material yang digunakan adalah paduan dari Pellet polylatid acid (PLA) dan serbuk magnesium (Mg).
3. Parameter yang dianalisa pengaruhnya adalah kecepatan *screw*, temperatur pemanasan, kecepatan putaran kipas (pendingin).
4. Proses optimasi menggunakan metode Anova (analysis of varians) dengan bantuan *software Design Expert*.

### 1.4 Tujuan Khusus Penelitian

Tujuan dari pada tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh parameter proses fabrikasi mesin ekstrusi terhadap diameter filamen biokomposit.

2. Melakukan optimalisasi parameter proses fabrikasi filamen biokomposit untuk menghasilkan kualitas dimensi yang direkomendasikan untuk pencetakan 3D printer FDM.

### 1.5 Urgensi Penelitian

Urgensi pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode ekstrusi dapat dimanfaatkan sebagai metode alternatif dalam menghasilkan material perancah tulang jika dibandingkan metode selama ini yang digunakan.
2. Dengan menggunakan material biokomposit dan metode ekstrusi akan menghasilkan produk perancah yang lebih murah tanpa mengurangi kualitas dari kriteria perancah tulang itu sendiri.

### 1.6 Manfaat Penelitian

Material Mg memiliki sifat biodegradable yang tinggi dan memiliki sifat bioaktif karena pelepasan ion  $Mg^{2+}$  yang menjanjikan untuk penerapannya sebagai biomaterial untuk regenerasi jaringan tulang. Namun Mg merupakan salah satu logam yang paling reaktif dengan laju degradasi yang tinggi, kontak dengan air menghasilkan  $H_2$ , sehingga meningkatkan risiko kegagalan implan. Salah satu alternatif untuk mengatasi kelemahan ini adalah penggunaan partikel Mg yang dikombinasikan dengan polimer berbasis biomaterial yang dapat terurai dalam tubuh seperti asam polilaktat (PLA) untuk mendapatkan PLA/Mg.

Studi tentang filamen biokomposit PLA/Mg ini sangat penting untuk mencari metode yang tepat untuk fabrikasi biokomposit yang diharapkan akan menghasilkan filamen dengan kualitas yang baik untuk penerapan implan perancah tulang. Manfaat lain yang didapatkan adalah mengurangi kebutuhan untuk mencari dari awal parameter proses optimal pada mesin filamen ekstruder untuk menghasilkan filamen yang memiliki kualitas terbaik mendekati kualitas asli dari filamen buatan industri.

Beberapa peneliti telah melakukan upaya untuk mengembangkan dan menghasilkan filamen dengan metode ekstrusi untuk diaplikasikan pada perancah tulang. Untuk mendapatkan filamen dengan standar yang tinggi maka harus

dilakukan optimalisasi parameter proses sehingga akan menjadi acuan dalam proses fabrikasi biokomposit, khususnya PLA/Mg. Studi yang dilakukan terakhir pada tahun 2021 tentang pendekatan eksperimental untuk mendapatkan nilai optimasi dalam menentukan parameter proses fabrikasi filamen tetapi proses tersebut hanya menggunakan bahan PLA, belum menggunakan bahan campuran (Kuo et al., 2021). Perubahan material yang digunakan tentunya akan merubah parameter yang digunakan dikarenakan karakteristik yang berbeda dari material khususnya pada bahan campuran. Studi yang dilakukan Iulian Antoniac pada tahun 2019 telah menggunakan PLA/Mg sebagai bahan campuran filamen biokomposit tetapi parameter fabrikasi yang dioptimasi hanya pada parameter diameter nozzle dan temperatur pemanasan (Antoniac et al., 2019).



*Inorganic Biochemistry*, 49(1), 69–78. [https://doi.org/10.1016/0162-0134\(93\)80049-F](https://doi.org/10.1016/0162-0134(93)80049-F)

Bose, S., Vahabzadeh, S., & Bandyopadhyay, A. (2013). Bone tissue engineering using 3D printing. *Materials Today*, 16(12), 496–504. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2013.11.017>

Budgen, D., & Brereton, P. (2006). Performing systematic literature reviews in software engineering. *Proceedings - International Conference on Software Engineering, 2006*. <https://doi.org/10.1145/1134285.1134500>

Cordonnier, T., Sohier, J., Rosset, P., & Layrolle, P. (2011). Biomimetic materials for bone tissue engineering - State of the art and future trends. *Advanced Engineering Materials*. <https://doi.org/10.1002/adem.201080098>

Distler, T., Fournier, N., Grünwald, A., Polley, C., Seitz, H., Detsch, R., & Boccaccini, A. R. (2020). Polymer-Bioactive Glass Composite Filaments for 3D Scaffold Manufacturing by Fused Deposition Modeling: Fabrication and Characterization. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00552>

Djidi, D., Mignard, N., & Taha, M. (2015). Thermosensitive polylactic-acid-based networks. *Industrial Crops and Products*, 72, 220–230. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.035>

*Dorong Inovasi Alkes Buatan Lokal, Menteri Kesehatan: Implant Traumatik Inovasi BPPT Berkualitas Tinggi*. (n.d.). ANP(MNCTRIJAYA.COM). Retrieved December 17, 2022, from <https://www.mnctrijaya.com/news/detail/29372/dorong-inovasi-alkes-buatan-lokal-menteri-kesehatan-implant-traumatik-inovasi>

Ertane, E. G., Dorner-Reisel, A., Baran, O., Welzel, T., Matner, V., & Svoboda, S. (2018). Processing and Wear Behaviour of 3D Printed PLA Reinforced with Biogenic Carbon. *Advances in Tribology*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1763182>

Fourati, N., Blel, N., Lattach, Y., Ktari, N., & Zerrouki, C. (2016). Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. In *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.01733-1>



Gruber, P. R. (2001). Commodity polymers from renewable resources: polylactic acid. In *Carbon Management: Implications for R&D in the Chemical Sciences and Technology: a workshop report to the chemical sciences roundtable*.

Gupta, B., Revagade, N., & Hilborn, J. (2007). Poly(lactic acid) fiber: An overview. In *Progress in Polymer Science (Oxford)*. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2007.01.005>

Hariyati, R. T. S. (2010). Mengenal Systematic Review Theory dan Studi Kasus. *Jurnal Keperawatan Indonesia*, 13(2). <https://doi.org/10.7454/jki.v13i2.242>

Hossain, M. S., Espalin, D., Ramos, J., Perez, M., & Wicker, R. (2014). Improved Mechanical Properties of Fused Deposition Modeling-Manufactured Parts Through Build Parameter Modifications. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, 136(6). <https://doi.org/10.1115/1.4028538>

Kim, C. G., Han, K. S., Lee, S., Kim, M. C., Kim, S. Y., & Nah, J. (2021). Fabrication of biocompatible polycaprolactone–hydroxyapatite composite filaments for the FDM 3D printing of bone scaffolds. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(14). <https://doi.org/10.3390/app11146351>

Kim, H. B., Patel, D. K., Seo, Y. R., & Lim, K. T. (2019). 3D-Printed Scaffolds with Reinforced Poly (Lactic Acid)/Carbon Nanotube Filaments Based on Melt Extrusion. *Journal of Biosystems Engineering*, 44(2), 120–127. <https://doi.org/10.1007/s42853-019-00011-3>

Kuo, C. C., Chen, J. Y., & Chang, Y. H. (2021). Optimization of process parameters for fabricating polylactic acid filaments using design of experiments approach. *Polymers*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/polym13081222>

Liu, Z., Lei, Q., & Xing, S. (2019). Mechanical characteristics of wood, ceramic, metal and carbon fiber-based PLA composites fabricated by FDM. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(5). <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.06.034>

Mahyudin, F., & Hermawan, H. (2016). Biomaterials and Medical Devices - A Perspective from an Emerging Country. In *Advanced Structured Materials (Vol. 58)*.

Nair, L. S., & Laurencin, C. T. (2007). Biodegradable polymers as biomaterials. In *Progress in Polymer Science (Oxford)*. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2007.05.017>

Nassar, A., Nassar, E., & Younis, M. (2021). A novel design to external filamen extruder for 3D printer. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 19(3), 268–275. <https://doi.org/10.1080/14484846.2019.1605684>

Nevado, P., Lopera, A., Bezzon, V., Fulla, M. R., Palacio, J., Zaghete, M. A., Biasotto, G., Montoya, A., Rivera, J., Robledo, S. M., Estupiñan, H., Paucar, C., & Garcia, C. (2020). Preparation and in vitro evaluation of PLA/biphasic calcium phosphate filaments used for fused deposition modelling of scaffolds. *Materials Science and Engineering C*, 114(March), 111013. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.111013>

Nithya Priya, S., Naveen Kumar, S., Prem Kumar, S., & Pradeep, K. K. (2021). Design and fabrication of filamen extruder with spooler. *Materials Today: Proceedings*, xxxx, 20–22. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.103>

Parsaei, H. R. (2007). Rapid Prototyping: Theory and Practice (Manufacturing Systems Engineering Series). In *Thermoplastics and Thermoplastic Composites*.

Pawar, R. P., Tekale, S. U., Shisodia, S. U., Totre, J. T., & Domb, A. J. (2014). Send Orders for Reprints to [reprints@benthamscience.net](mailto:reprints@benthamscience.net) Biomedical Applications of Poly(Lactic Acid). *Recent Patents on Regenerative Medicine*, 4, 40–51.

Pepsi Maryarini. (2020). *No Title*. Indonesia - Medical Equipment. <https://www.privacyshield.gov/article?id=Indonesia-Medical-Equipment>

Razavian, M., Paech, B., & Tang, A. (2019). Empirical research for software architecture decision making: An analysis. *Journal of Systems and Software*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.12.003>

Senatov, F. S., Niaza, K. V., Zadorozhnyy, M. Y., Maksimkin, A. V., Kaloshkin, S. D., & Estrin, Y. Z. (2016). Mechanical properties and shape memory effect of 3D-printed PLA-based porous scaffolds. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2015.11.036>

Shahrubudin, N., Lee, T. C., & Ramlan, R. (2019). An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. *Procedia Manufacturing*, 35. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>

Soekidjo Notoatmodjo. (2010). Metodolgi Penelitian Kesehatan. In *Rineka Cipta* (Vol. 1).

Staiger, M. P., Pietak, A. M., Huadmai, J., & Dias, G. (2006). Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review. In *Biomaterials*. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.10.003>

Sun, Y., Finne-Wistrand, A., Albertsson, A. C., Xing, Z., Mustafa, K., Hendrikson, W. J., Grijpma, D. W., & Moroni, L. (2012). Degradable amorphous scaffolds with enhanced mechanical properties and homogeneous cell distribution produced by a three-dimensional fiber deposition method. *Journal of Biomedical Materials Research - Part A*, 100 A(10), 2739–2749. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.34210>

Thavorniyutikarn, B., Chantarapanich, N., Sitthiseripratip, K., Thouas, G. A., & Chen, Q. (2014). Bone tissue engineering scaffolding: computer-aided scaffolding techniques. *Progress in Biomaterials*. <https://doi.org/10.1007/s40204-014-0026-7>

Thompson, C., Biurrun, N., & Lizarralde, I. (n.d.). *Processing and properties of PLA / Mg filaments for 3D printing of scaffolds for biomedical applications*. 1–25.

Vroman, I., & Tighzert, L. (2009). Biodegradable polymers. In *Materials*. <https://doi.org/10.3390/ma2020307>

Whulanza, Y. (2017). Realitization and Testing of Mini Extruder for Biomaterial Filamen in Biomedical Application. *Journal of Energy, Mechanical, Material and Manufacturing Engineering*, 1(1). <https://doi.org/10.22219/jemmme.v1i1.4476>

Zainuri, A. M. (2010). Mesin pemindah bahan (material handling equipment). In *Manajemen Pelayanan Umum Di Indonesia* (Issue March).

Zhang, X., Li, X. W., Li, J. G., & Sun, X. D. (2014). Preparation and mechanical property of a novel 3D porous magnesium scaffold for bone tissue engineering. *Materials Science and Engineering C*. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2014.05.044>

Zhao, F., Li, D., & Jin, Z. (2018). Preliminary investigation of poly-ether-ether-ketone based on fused deposition modeling for medical applications. *Materials*. <https://doi.org/10.3390/ma11020288>

