

SKRIPSI

**OPTIMASI PARAMETER CETAK UNTUK
MENGURANGI *VOID* DAN KEAUSAN PADA
BEARING MATERIAL PLA HASIL *3D PRINTING***



Oleh:

SANIA NADILLAH PERMATA DEWI

NPM. 21036010069

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"

JAWA TIMUR

2025

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**OPTIMASI PARAMETER CETAK UNTUK MENGURANGI VOID DAN KEAUSAN
PADA BEARING MATERIAL PLA HASIL 3D PRINTING**

Disusun Oleh :

SANIA NADILLAH PERMATA DEWI

21036010069

Telah di uji, dipertahankan, dan diterima oleh Tim Penguji Skripsi Program Studi
Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
Pada Hari Rabu, 03 Desember 2025

Dosen Penguji I

Dosen Pembimbing

Ahmad Khairul Faizin, S.T., M. Sc
NIP. 199301202024061001

Dr. Wahyu Dwi Lestari, S.Pd., MT.
NIP. 199101142025062005

Dosen Penguji II

Koordinator Progam Studi Teknik Mesin

Wiliandi Saputro, S.T., M.Eng.
NIP. 199407262024061002

Dr. Ir. Luluk Edahwati, MT.
NIP. 19640611 199203 2 001

Mengetahui,

**Dekan Fakultas Teknik & Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur**

Prof. Dr. Dra. Jarivah, M.P.
NIP. 19650403 199103 2 001



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS**

KETERANGAN REVISI

Mahasiswa di bawah ini:

Nama : Sania Nadillah Pemata Dewi

NPM : 21036010069

Program Studi : ~~Teknik Kimia~~ / ~~Teknik Industri~~ / ~~Teknologi Pangan~~ /
~~Teknik Lingkungan~~ / ~~Teknik Sipil~~ / Teknik Mesin

Telah mengerjakan revisi / ~~tidak ada revisi~~ *) ~~PRA RENCANA (DESAIN)~~ / SEMINAR PROPOSAL /
SKRIPSI / TUGAS AKHIR Ujian Lisan Periode IV, TA. 2024/2025.

Dengan judul : OPTIMASI PARAMETER CETAK UNTUK MENGURANGI VOID DAN
KEAUSAN PADA BEARING MATERIAL PLA HASIL 3D PRINTING

Dosen Penguji yang memerintahkan revisi

1. Ahmad Khairul Faizin, S.T., M.Sc.

2. Wiliandi Saputro, S.T., M.Eng.


 15/11/2025

Surabaya, 19 November 2025

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Dr. Wahyu Dwi Lestari, S.Pd., MT.
NIP. 199101142025062005

Catatan: *) coret yang tidak perlu

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Sania Nadillah Permata Dewi
NPM : 21036010069
Program : Sarjana (S1)
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik & Sains

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dan saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi. Apabila dikemudian hari ditemulan indikasi plagiat pada Skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 03 Desember 2025
yang membuat pernyataan



Sania Nadillah Permata Dewi
21036010069

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dengan segala keterbatasannya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan lancar. Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan tugas akhir penulis, yakni :

1. **Ibu Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P** selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. **Ibu Dr. Ir. Luluk Edahwati, M.T.** selaku Koordinator Program Studi Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. **Ibu Dr. Wahyu Dwi Lestari, S.Pd.,MT.** selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah memberikan bimbingan, ilmu, motivasi, serta koreksi dalam penulisan dan pengerjaan tugas akhir.
4. **Bapak Ahmad Khairul Faizin, S.T., M. Sc.** selaku Dosen Penguji I Skripsi yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan dan koreksi dalam penulisan dan pengerjaan Tugas Akhir.
5. **Bapak Wiliandi Saputro, S.T., M.Eng.** selaku Dosen Penguji II Skripsi yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan dan koreksi dalam penulisan dan pengerjaan Tugas Akhir.
6. **Kedua Orang Tua** yang telah memberikan motivasi, dan doa terbaiknya.
7. **Teman – Teman Program Studi Teknik Mesin** yang telah memberikan dukungan selama pelaksanaan pengerjaan Tugas Akhir.

Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan motivasi bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang.

Surabaya, 03 Desember 2025

Sania Nadillah Permata Dewi
NPM. 21036010069

ABSTRAK

Teknologi 3D printing FDM banyak digunakan untuk membuat bantalan PLA, namun masalah utama yang muncul adalah void dan keausan. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan parameter proses agar dapat mengurangi void dan menurunkan tingkat keausan pada bantalan PLA. Parameter yang divariasikan meliputi kepadatan isi ulang (60%, 80%, 100%), tinggi lapisan (0,10 mm; 0,15 mm; 0,20 mm), dan suhu nozzle (190°C, 200°C, 210°C). Percobaan dirancang menggunakan metode Taguchi dengan ortogonal array L9. Analisis rongga dilakukan menggunakan mikroskop optik yang diproses dengan perangkat lunak *ImageJ*, sedangkan uji keausan dilakukan melalui pengujian tribologi pada mesin CNC dengan beban 2 kg dan kecepatan 500 rpm. Layer height terbukti menjadi faktor paling berpengaruh terhadap keausan, sementara infill density memberikan kontribusi terbesar terhadap terbentuknya void. Nozzle temperature berpengaruh lebih kecil, tetapi tetap mempengaruhi kualitas cetakan. Berdasarkan analisis Grey Relational Analysis (GRA), kombinasi terbaik yang memberikan nilai GRG tertinggi adalah infill 60%, layer height 0,10 mm, dan nozzle temperature 190°C, kombinasi tersebut memberikan nilai GRG tertinggi. Nilai p-value < 0,10 mengonfirmasi bahwa hasil optimasi signifikan pada taraf kepercayaan 90%. Optimasi parameter cetak menggunakan Taguchi–GRA terbukti mampu meminimalkan rongga dan menurunkan laju keausan, sehingga meningkatkan kualitas mekanik bantalan PLA dan memungkinkan penggunaannya tidak hanya sebagai prototipe tetapi juga sebagai komponen fungsional.

Kata Kunci : Pencetakan 3D, Metode Taguchi, Analisis Relasional Abu-abu, Rongga, Keausan

ABSTRACT

FDM 3D printing technology is widely used to make PLA bearing, but the main problems that arise are voids and wear. This study aims to optimize process parameters in order to reduce voids and lower the wear rate on PLA bearing. The parameters varied included infill density (60%, 80%, 100%), layer height (0.10 mm; 0.15 mm; 0.20 mm), and nozzle temperature (190°C, 200°C, 210°C). The experiment was designed using the Taguchi method with an L9 orthogonal array. Void analysis was performed using an optical microscope processed with ImageJ software, while wear testing was conducted through tribology testing on a CNC machine with a load of 2 kg and a speed of 500 rpm. Layer height proved to be the most influential factor on wear, while infill density contributed most to void formation. Nozzle temperature had a smaller effect but still influenced print quality. Based on Grey Relational Analysis (GRA), the best combination that provided the highest GRG value was 60% infill, 0.10 mm layer height, and 190°C nozzle temperature. The p -value < 0.10 confirmed that the optimization results were significant at a 90% confidence level. Optimization of printing parameters using Taguchi–GRA has been proven to minimize voids and reduce wear rates, thereby improving the mechanical quality of PLA bearings and enabling their use not only as prototypes but also as functional components.

Keywords: 3D printing, Taguchi method, Grey Relational Analysis, void, wear

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
LEMBAR BEBAS REVISI	ii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Optimasi Parameter Cetak.....	5
2.2 Landasan Teori	7
2.2.1 <i>Bearing</i>	7
2.2.2 Teori Tribologi	8
2.2.2.1 Tribologi	8
2.2.2.2 Gesekan (<i>Friction</i>).....	9
2.2.2.3 Keausan (<i>Wear</i>)	10
2.2.2.4 Pengujian Keausan.....	10
2.2.3 <i>3D Printing</i>	11
2.2.3.1 Prinsip Dasar.....	11
2.2.3.2 Metode <i>3D Printing</i>	12
2.2.3.3 Material yang Digunakan.....	13
2.2.3.4 Keunggulan dan Kelemahan <i>3D Printing</i>	13

2.2.3.5	Aplikasi 3D <i>Printing</i>	14
2.2.3.6	Parameter Cetak dalam 3D <i>Printing</i>	14
2.2.4	Material PLA dalam 3D <i>Printing</i>	16
2.2.5	<i>Void</i> dalam Proses 3D <i>Printing</i>	16
2.2.6	<i>Optical Microscopy</i>	18
2.2.7	Metode Taguchi	19
2.2.8	Metode <i>Grey Relational Analys</i>	19
2.2.9	Metode Analisa Error	21
2.2.9.1	<i>Mean</i> dan Standar Deviasi.....	21
2.2.9.2	<i>Propagation of Error</i> (PoE)	22
2.2.9.3	Analisis FITS dan Residual	22
2.3	Hipotesis	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		24
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	24
3.2	Alat dan Bahan	24
3.3	Diagram Alir	26
3.4	Prosedur Penelitian	27
3.4.1	Studi literatur	27
3.4.2	Menentukan Parameter Penelitian.....	27
3.4.3	Pembuatan dan Persiapan Sampel.....	29
3.4.4	Mikroskop Optik	30
3.4.5	Pengujian Tribologi.....	31
3.4.6	Pengumpulan Data	32
3.4.7	Analisis Data.....	33
3.5	Metode Analisis Data.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		34
4.1	Pengaruh Faktor terhadap <i>Void</i>	34
4.2	Pengaruh Faktor terhadap Keausan.....	39
4.3	Optimasi Multi – Respon (<i>Void</i> dan Keausan) dengan GRA.....	43
4.4	Analisa Data Error.....	47
4.4.1	Analisa Error <i>Void</i>	47

4.4.2	Analisa Error Keausan.....	48
4.5	Komparasi Hasil.....	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		50
5.1	Kesimpulan.....	50
5.2	Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA		52
LAMPIRAN.....		55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Representasi dari (a) bantalan jurnal yang halus dan (b) bantalan jurnal bertekstur	8
Gambar 2. 2 Pengaturan Eksperimental untuk Menganalisis Properti Keausan TJB Cetakan 3D	11
Gambar 2. 3 Macam – Macam Bentuk <i>Void</i>	18
Gambar 3. 1 Diagram Alir	26
Gambar 3. 2 Skema Analisa <i>Void</i>	30
Gambar 3. 3 Skema Pengujian Tribologi.....	32
Gambar 3. 4 Kondisi Nyata Pengujian Tribologi	32
Gambar 4. 1 <i>Void</i> pada <i>bearing</i> (a) Hasil mikroskop, (b) Hasil pengolahan <i>imagej</i>	35
Gambar 4. 2 Grafik Analisa Taguchi <i>Void</i>	37
Gambar 4. 3 Grafik Analisa Taguchi Keausan.....	41
Gambar 4. 4 Plot Efek Level Faktor terhadap Nilai Rata – rata GRG	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu Terkait Optimasi Parameter Cetak <i>3D Printing</i>	5
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan dalam Penelitian	24
Tabel 3. 2 Parameter Rancangan Eksperimen	28
Tabel 3. 3 Parameter Ortogonal	29
Tabel 4. 1 Hasil Rata – Rata Luas <i>Void</i>	34
Tabel 4. 2 SN Rasio pada <i>Void</i>	36
Tabel 4. 3 Data hasil ANOVA <i>Void</i>	38
Tabel 4. 4 Hasil Data Keausan	39
Tabel 4. 5 SN Rasio pada Keausan.....	40
Tabel 4. 6 Data hasil ANOVA Keausan.....	42
Tabel 4. 7 Nilai <i>Grey Relational Grade</i> (GRG) dan Peringkat Optimasi Multi-Respon	43
Tabel 4. 8 Perbandingan Kombinasi Optimum Parsial dan Multi-Respon (GRA)	45
Tabel 4. 9 Uji Konfirmasi GRA	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Proses cetak <i>bearing</i>	55
Lampiran 2 Proses uji keausan	57
Lampiran 3 Proses uji <i>void</i>	58
Lampiran 4 Hasil Visualisasi <i>Void</i>	59
Lampiran 5 Hasil Visualisasi Keausan	61
Lampiran 6 Perhitungan Keausan	63
Lampiran 7 Perhitungan Metode GRA	64
Lampiran 8 Perhitungan Uji Konfirmasi	65
Lampiran 9 Biodata Mahasiswa	66