



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**MODIFIKASI GEOMETRI *NOZZLE 3D PRINTING*
UNTUK APLIKASI FILAMEN KOMPOSIT
*POLYCAPROLACTONE-MAGNESIUM-
HYDROXYAPATITE***

SKRIPSI

Oleh :

Bintang Gavin Azarya

NIM 2202411033

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI
REKAYASA MANUFAKTUR**

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**MODIFIKASI GEOMETRI *NOZZLE 3D PRINTING*
UNTUK APLIKASI FILAMEN KOMPOSIT
*POLYCAPROLACTONE-MAGNESIUM-
HYDROXYAPATITE***

SKRIPSI

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Teknik Mesin

Oleh :

Bintang Gavin Azarya

NIM 2202411033

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI
REKAYASA MANUFAKTUR**

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



" Skripsi ini saya persembahkan untuk Ibu, Ayah, dan Kakak saya yang senantiasa memberikan doa, dukungan, motivasi, serta menjadi sumber kekuatan bagi saya dalam setiap proses yang saya lalui. "



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

MODIFIKASI GEOMETRI *NOZZLE 3D PRINTING* UNTUK APLIKASI FILAMEN KOMPOSIT *POLYCAPROLACTONE-MAGNESIUM- HYDROXYAPATITE*

Oleh :

Bintang Gavin Azarya

NIM 2202411033

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Laporan Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T., M.T., IWE.
NIP. 197707142008121005

Pembimbing 2

Vina Nanda Garjati, S.T., M.T.
NIP. 199206232020122014

Kepala Program Studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Radhi Maladzi, S.T., M.T
NIP. 199307282024061001



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Modifikasi Geometri *Nozzle 3D Printing* untuk Aplikasi Filamen Komposit *Polycaprolactone-Magnesium-Hydroxyapatite*

Oleh:

Bintang Gavin Azarya

NIM 2202411033

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 16 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T., M.T., IWE. NIP. 197707142008121005	Ketua		27/07/2026
2.	Muhamad Hanhan Nugraha, S.Tr.T., M.Tr.T. NIP. 199508252024061001	Anggota		29/07/2026
3.	Radhi Maladzi, S.T., M.T. NIP. 199307282024061001	Anggota		30/07-2026

Depok, 16 Juli 2026

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si.

NIP. 197602252000121002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINILITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Bintang Gavin Azarya

NIM : 2202411033

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Skripsi telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 16 Juli 2026



Bintang Gavin Azarya

NIM. 2202411033



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

MODIFIKASI GEOMETRI *NOZZLE* 3D *PRINTING* UNTUK APLIKASI FILAMEN KOMPOSIT PCL-Mg-HA

Bintang Gavin Azarya¹⁾, Muslimin²⁾, Vina Nanda Garjati³⁾

¹⁾ Program Studi Sarjana Terapan Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16425

²⁾ Program Studi Magister Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

³⁾ Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16425

Email: bintang.gavin.azarya.tm22@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini membahas modifikasi geometri *nozzle* 3D *printing* untuk meningkatkan performa pencetakan filamen komposit *Polycaprolactone-Magnesium-Hydroxyapatite*. Permasalahan utama dalam proses pencetakan adalah terjadinya *clogging* pada *nozzle* standar akibat tingginya *pressure drop* yang mengganggu proses ekstrusi dan menyebabkan kegagalan pencetakan. Oleh karena itu, dilakukan optimasi geometri *nozzle* untuk meningkatkan keberhasilan proses pencetakan.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan *Design of Experiments* (DOE) melalui metode Taguchi dengan *orthogonal array* L9 (3³). Variabel penelitian meliputi diameter *nozzle*, sudut *nozzle*, dan panjang *outlet nozzle*. Analisis dilakukan menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk memperoleh nilai *pressure drop*, kemudian dilanjutkan dengan *Signal to Noise Ratio* (SN Ratio) dan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk menentukan faktor yang paling berpengaruh serta kondisi optimal.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa diameter *nozzle* dan sudut *nozzle* berpengaruh signifikan terhadap *pressure drop*, sedangkan panjang *outlet* tidak berpengaruh signifikan. Desain terbaik yang diperoleh dengan diameter 1,2 mm, sudut 120°, dan panjang *outlet* 0,5 mm. Pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan pencetakan sebesar 100% tanpa *clogging*. Selain itu, hasil cetak menunjukkan penyimpangan dimensi pada sumbu X sebesar 0,004 mm, sumbu Y sebesar 0.08 mm, dan sumbu Z sebesar -0,07 mm.

Kata Kunci: 3D *Printing*, *Nozzle*, PCL-Mg-HA, *Pressure Drop*, Taguchi, ANOVA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

MODIFIKASI GEOMETRI *NOZZLE* 3D PRINTING UNTUK APLIKASI FILAMEN KOMPOSIT PCL-Mg-HA

Bintang Gavin Azarya¹⁾, Muslimin²⁾, Vina Nanda Garjati³⁾

¹⁾ Program Studi Sarjana Terapan Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16425

²⁾ Program Studi Magister Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

³⁾ Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16425

Email: bintang.gavin.azarya.tm22@mhsw.pnj.ac.id

ABSTRACT

This study discusses the modification of 3D printing nozzle geometry to improve the printing performance of Polycaprolactone(PCL)-Magnesium(Mg)-Hydroxyapatite(HA) composite filaments. The main problem during the printing process is clogging in the standard nozzle caused by high pressure drop which can causes molding failure. Therefore, nozzle geometry optimization is carried out to improve printing performance.

This study use experimental method using the Design of Experiments (DOE) approach through the Taguchi method with an L9 orthogonal array. The research variables included nozzle diameter, nozzle angle, and nozzle outlet length. The analysis was carried out using Computational Fluid Dynamics simulation to evaluate pressure drop, then followed by SN Ratio and Analysis of Variance to determine the most influential factors and optimal conditions.

The results showed that nozzle diameter and nozzle angle significantly affected pressure drop, whereas outlet length did not have a significant effect. The best design is design with a diameter of 1.2 mm, an angle of 120°, and an outlet length of 0.5 mm. Experimental validation shows a printing success rate of 100% without clogging and the print results show dimensional deviations on the X axis of 0.004 mm, Y axis of 0.08 mm, and Z-axis of -0.07 mm.

Keywords: 3D Printing, Nozzle, PCL-Mg-HA, Pressure Drop, Taguchi, ANOVA

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Modifikasi Nozzle 3D Printing untuk Aplikasi Filamen Komposit Polycaprolactone-Magnesium-Hydroxyapatite**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang tiada terhingga kepada:

1. Bapak Fuad Zainuri, S.T., M.Si selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T., M.T., IWE. selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan, masukan serta pengarahan dalam penulisan skripsi.
3. Ibu Vina Nanda Garjati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan, masukan serta arahan kepada penulis dalam menyusun skripsi ini.
4. Bapak Radhi Maladzi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
5. Ibu dan Ayah yang selalu memberikan doa, dukungan serta support kepada penulis sejak awal masuk kuliah hingga penyelesaian skripsi.
6. Kakak Saya, yang selalu memberikan dukungan serta bantuan selama masa perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.
7. Mega Febrianti, yang senantiasa mendengarkan keluh kesah penulis, selalu memberikan motivasi dan dukungan serta telah menemani penulis selama proses penyusunan skripsi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

8. Bagus Cahyo, selaku partner penulis yang selalu memberi dukungan, bantuan, solusi, serta doa kepada penulis selama proses penyusunan skripsi, sehingga skripsi ini bisa diselesaikan tepat waktu.
9. Danang, Reza, Fahmi selaku teman SMA yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta doa dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Rekan-rekan Program Studi Manufaktur 2022 yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam proses penyelesaian skripsi.
11. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu namun sudah memberikan doa dan dukungan.

Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak terutama pada bidang manufaktur.

Depok, 29 Juni 2026

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Bintang Gavin Azarya

NIM. 2202411033



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN ORISINILITAS.....	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Pertanyaan Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Batasan Masalah.....	5
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Landasan Teori	7
2.1.1 Mesin 3D <i>Printing</i>	7
2.1.2 <i>Fused Deposit Modeling</i> (FDM).....	8
2.1.3 Sistem <i>Extruder</i> pada 3D <i>Printing</i>	9
2.1.4 Filamen.....	11
2.1.5 Filamen Komposit.....	12
2.1.6 <i>Polycaprolactone</i> (PCL)	12
2.1.7 Magnesium (Mg).....	13
2.1.8 <i>Hydroxyapatite</i> (HA).....	13
2.1.9 Karakteristik filamen komposit PCL-Mg-HA	14
2.1.10 <i>Nozzle</i> 3D <i>Printing</i>	14



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.1.11	Geometri Nozzle 3D Printing.....	15
2.1.12	Pressure Drop	16
2.1.13	Darcy Weisbach.....	18
2.1.14	Clogging.....	19
2.1.15	Design of Experiments (DOE)	20
2.1.16	Computational Fluid Dynamics (CFD).....	23
2.1.17	Analysis of Variance (ANOVA)	24
2.1.18	Penyimpangan Dimensi	24
2.1.19	Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive Spectroscopy (SEM EDS).....	25
2.2	Kajian Literatur	25
2.3	Kerangka Berpikir.....	30
2.4	Hipotesis.....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		33
3.1	Jenis Penelitian.....	33
3.2	Objek Penelitian	34
3.3	Metode Pengambilan Sampel.....	35
3.4	Jenis dan Sumber Data Penelitian	35
3.5	Metode Pengumpulan Data Penelitian	35
3.6	Metode Analisis Data	36
3.7	Diagram Alir Penelitian.....	36
3.8	Penjelasan Langkah Kerja.....	37
BAB IV PEMBAHASAN.....		44
4.1	Benchmarking Nozzle Standar.....	44
4.2	Desain Taguchi.....	45
4.2.1	Faktor dan Level	45
4.2.2	Orthogonal Array.....	46
4.3	Perancangan Desain Nozzle.....	46
4.4	Perhitungan Pressure Drop	49
4.4.1	Perhitungan Pressure Drop Desain 1	50
4.4.2	Perhitungan Pressure Drop Desain 2	51
4.4.3	Perhitungan Pressure Drop Desain 3	52



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.4.4	Perhitungan <i>Pressure Drop</i> Desain 4	53
4.4.5	Perhitungan <i>Pressure Drop</i> Desain 5	54
4.4.6	Perhitungan <i>Pressure Drop</i> Desain 6	55
4.4.7	Perhitungan <i>Pressure Drop</i> Desain 7	57
4.4.8	Perhitungan <i>Pressure Drop</i> Desain 8	58
4.4.9	Perhitungan <i>Pressure Drop</i> Desain 9	59
4.5	Simulasi <i>Computational Fluid Dynamics</i>	61
4.6	Penentuan Desain <i>Nozzle</i> yang Optimal	67
4.7	Hasil <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA)	68
4.8	Desain <i>Nozzle</i> Optimal berdasarkan Metode Taguchi.....	70
4.9	Fabrikasi <i>Nozzle</i> Modifikasi.....	71
4.10	Pengujian Performa <i>Nozzle</i>	72
4.10.1	Pencetakan Filamen PCL-Mg-HA	72
4.10.2	Penyimpangan Dimensi	76
4.10.3	Distribusi Temperature <i>Nozzle</i>	78
4.10.4	<i>Scanning Electron Microscope</i> EDS	79
BAB V KESIMPULAN.....		83
5.1	Kesimpulan	83
5.2	Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA.....		85
DAFTAR LAMPIRAN		92

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mesin 3D <i>Printing</i> Ender	7
Gambar 2. 2 Ilustrasi Fused Deposit Modeling	9
Gambar 2. 3 Sistem <i>Extruder</i> 3D <i>Printing Direct Driver</i>	10
Gambar 2. 4 Filamen PLA	12
Gambar 2. 5 <i>Nozzle</i> 3D <i>Printing</i>	15
Gambar 2. 6 Bagian geometri <i>nozzle</i> 3D <i>printing</i>	15
Gambar 2. 7 Bagian pada Geometri <i>Nozzle</i> 3D <i>Printing</i>	17
Gambar 2. 8 Ilustrasi <i>Clogging</i> pada <i>Nozzle</i>	20
Gambar 2. 9 Simulasi <i>Computational Fluid Dynamics</i>	24
Gambar 2. 10 Kerangka Pemikiran	31
Gambar 3. 1 Diagram Penelitian	37
Gambar 4. 1 <i>Benchmarking</i> pada <i>nozzle</i> standar	44
Gambar 4. 2 Hasil simulasi CFD <i>Nozzle Standar</i>	45
Gambar 4. 3 <i>SN Ratio Plot</i>	68
Gambar 4. 4 Desain <i>Nozzle</i> Optimal	70
Gambar 4. 5 Hasil Simulasi Pressure Drop <i>Nozzle</i> Optimal	70
Gambar 4. 6 Hasil Fabrikasi <i>Nozzle</i>	71
Gambar 4. 7 <i>Void</i> pada Sampel 1	75
Gambar 4. 8 <i>Void</i> pada hasil cetak filamen PCL-Mg-HA	75
Gambar 4. 9 <i>Stringing</i> pada hasil cetak filamen PCL-Mg-HA	76
Gambar 4. 10 Desain ASTM D638 Type V	77
Gambar 4. 11 Pengukuran Distribusi Thermal pada <i>Nozzle</i> 3D <i>Printing</i>	79
Gambar 4. 12 Hasil SEM EDS Sampel 9 500µm	80
Gambar 4. 13 Hasil SEM EDS Sampel 9 250 µm	81



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Mesin 3D <i>Printing</i> Ender 3 V3 KE	8
Tabel 2. 2 Sifat Material PCL-Mg-HA	14
Tabel 2. 3 Design <i>Orthogonal Array</i> L27	21
Tabel 2. 4 Tabel Rata-Rata SNR	23
Tabel 2. 5 Kajian Literatur	26
Tabel 3. 1 Variabel Kontrol Mesin 3D <i>Printing</i>	34
Tabel 3. 2 <i>Boundaries and Constrain</i> pada Simulasi	39
Tabel 4. 1 Faktor dan Level	46
Tabel 4. 2 <i>Orthogonal Array</i> L9	46
Tabel 4. 3 Hasil Perancangan Desain <i>Nozzle</i>	47
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan <i>Pressure Drop</i>	60
Tabel 4. 5 Hasil simulasi CFD berdasarkan <i>Pressure Drop</i>	61
Tabel 4. 6 Rangkuman Hasil <i>Pressure Drop</i>	66
Tabel 4. 7 Tabel <i>SN Ratio</i>	67
Tabel 4. 8 Hasil ANOVA	69
Tabel 4. 9 Geometri <i>Nozzle</i> Modifikasi	71
Tabel 4. 10 Komposisi 9 Filamen PCL-Mg-HA	72
Tabel 4. 11 Hasil Pencetakan Filamen PCL-Mg-HA	73
Tabel 4. 12 Dimensi Hasil Cetak Filamen PCL-Mg-HA	77
Tabel 4. 13 Eror Dimensi Hasil Cetak	77
Tabel 4. 14 Kandungan Komposisi Material Sampel 9	80
Tabel 4. 15 Kandungan Komposisi Material Sampel 9	82



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Drawing Nozzle</i> Standar	92
Lampiran 2 <i>Drawing Desain Nozzle</i> Optimal	94
Lampiran 3 <i>Clogging</i> pada <i>Nozzle</i> Standar saat mencetak filamen PCL-Mg-HA	96
Lampiran 4 Proses Pencetakan Sampel 1	96
Lampiran 5 Proses Pencetakan Sampel 2	97
Lampiran 6 Proses Pencetakan Sampel 3	97
Lampiran 7 Proses Pencetakan Sampel 4	98
Lampiran 8 Proses Pencetakan Sampel 5	98
Lampiran 9 Proses Pencetakan Sampel 6	99
Lampiran 10 Proses Pencetakan Sampel 7	99
Lampiran 11 Proses Pencetakan Sampel 8	100
Lampiran 12 Proses Pencetakan Sampel 9	100
Lampiran 13 Pengukuran dimensi sampel 1	100
Lampiran 14 Pengukuran dimensi sampel 2	101
Lampiran 15 Pengukuran dimensi sampel 3	101
Lampiran 16 Pengukuran dimensi sampel 4	101
Lampiran 17 Pengukuran dimensi sampel 5	101
Lampiran 18 Pengukuran dimensi sampel 6	101
Lampiran 19 Pengukuran dimensi sampel 7	102
Lampiran 20 Pengukuran dimensi sampel 8	102
Lampiran 21 Pengukuran dimensi sampel 9	102
Lampiran 22 Hasil Uji Foto Thermal FLIR	103
Lampiran 23 Hasil Uji SEM EDS 500 Sampel 9	104
Lampiran 24 Hasil Uji SEM EDS 250 Sampel 9	106

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri yang berlangsung pesat memberikan pengaruh signifikan terhadap bidang manufaktur, terutama dalam proses pengembangan produk [1]. Desain produk yang telah dirancang umumnya diwujudkan terlebih dahulu dalam bentuk prototipe sebagai media evaluasi sebelum memasuki tahap produksi massal. Dalam proses pembuatan prototipe, diperlukan mesin dengan tingkat ketelitian yang tinggi serta waktu pengerjaan yang relatif singkat. Salah satu mesin yang mampu mempercepat proses pembuatan prototipe tersebut adalah mesin *3D printing*.

3D printing merupakan teknologi *additive manufacturing* yang membentuk objek tiga dimensi dari desain CAD menjadi objek prototipe secara langsung [2]. Salah satu metode yang paling banyak diaplikasikan pada proses pencetakan 3D printing adalah *Fused Deposition Modeling* (FDM) karena mudah dioperasikan, dan biayanya rendah, serta efektif untuk pembuatan prototipe dan pengembangan produk [3][4]. Proses FDM dilakukan dengan melelehkan filamen termoplastik melalui *nozzle* yang dipanaskan, kemudian mengekstrusikannya secara berlapis (*layer by layer*) hingga membentuk objek tiga dimensi [5]. Seiring meningkatnya kebutuhan material dengan sifat mekanik yang lebih baik, penggunaan filamen komposit pada proses FDM semakin berkembang [6]. Salah satu yang banyak dikembangkan adalah komposit PCL-Mg-HA, yaitu *Polycaprolactone* (PCL) yang diperkuat *Magnesium* (Mg) dan ditambahkan *Hydroxyapatite* (HA). Filamen ini memiliki sifat biokompatibel serta mampu mendukung regenerasi jaringan tulang. Namun, penggunaan filamen komposit sering menimbulkan permasalahan pada proses pencetakan [7]. Namun, penggunaan filamen komposit sering menimbulkan permasalahan pada proses pencetakan *3D Printing* [8].

Salah satu permasalahan utama dalam pencetakan filamen komposit dengan menggunakan *nozzle* standar pada metode FDM adalah terjadinya *clogging* atau penyumbatan *nozzle* [8]. Penelitian sebelumnya menunjukkan tingginya frekuensi



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

clogging dalam mencetak filamen komposit PCL-Mg-HA. Salah satu faktor penyebab terjadinya *clogging* dalam penelitian tersebut adalah *feeding slip*[9]. *Feeding slip* dapat terjadi akibat nilai *pressure drop* yang tinggi pada *nozzle*. Semakin tinggi *pressure drop*, semakin besar gaya yang diperlukan untuk mendorong filamen keluar melewati *nozzle*. Kondisi ini dapat meningkatkan risiko *clogging*, dan menurunkan keberhasilan proses pencetakan. Hal ini mengindikasikan bahwa perlu adanya modifikasi geometri pada desain *nozzle* sebagai solusi dari masalah tersebut.

Penelitian terdahulu telah berupaya mengurangi *pressure drop* pada *nozzle* melalui optimasi geometri menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* [9]. Melalui modifikasi geometri, seperti perubahan bentuk *nozzle* dan sudut konvergensi dilaporkan mampu menurunkan *pressure drop* hingga 41% dibandingkan *nozzle* standar. Selain itu, hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa diameter *outlet* merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap *pressure drop*, sedangkan *die angle* lebih dominan memengaruhi shear stress [10]. Penelitian lain yang membahas optimasi desain *nozzle* FDM juga menunjukkan bahwa panjang saluran *outlet* pada ujung *nozzle* memengaruhi distribusi tekanan [11]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada material termoplastik konvensional seperti PLA dan ABS. Karakteristik filamen komposit PCL-Mg-HA berbeda dengan filamen termoplastik pada umumnya, sehingga hasil modifikasi geometri *nozzle* pada material termoplastik murni belum tentu dapat diterapkan secara langsung pada filamen komposit tersebut.

Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa modifikasi geometri *nozzle* dapat menurunkan nilai *pressure drop*, kajian yang menghubungkan hasil optimasi tersebut dengan performa aktual *nozzle* pada proses pencetakan masih terbatas, terutama untuk filamen komposit PCL-Mg-HA. Sebagian besar penelitian hanya berfokus pada hasil simulasi numerik tanpa melakukan validasi melalui pengujian pencetakan secara langsung. Penurunan *pressure drop* secara teoritis diharapkan dapat mengurangi risiko *clogging* serta meningkatkan keberhasilan proses pencetakan. Oleh karena itu, evaluasi terhadap performa *nozzle* melalui pengujian pencetakan perlu dilakukan untuk mengkaji pengaruh modifikasi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

geometri *nozzle* terhadap keberhasilan proses pencetakan filamen komposit PCL-Mg-HA.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan penelitian lanjutan mengenai modifikasi geometri *nozzle 3D printing* yang secara khusus ditujukan untuk pencetakan filamen komposit PCL-Mg-HA. Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi panjang *outlet*, sudut *nozzle*, dan diameter *nozzle* terhadap nilai *pressure drop* menggunakan metode Taguchi dan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Selanjutnya, desain *nozzle* terbaik akan dievaluasi melalui pengujian pencetakan untuk menganalisis pengaruhnya terhadap printability dan kualitas hasil cetak.

Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan *nozzle 3D printing* yang optimal untuk pencetakan filamen komposit PCL-Mg-HA. *Nozzle* yang dihasilkan diharapkan mampu menurunkan nilai *pressure drop* sekaligus meningkatkan performa pencetakan yang ditinjau dari keberhasilan proses pencetakan dan kualitas hasil cetak, sehingga dapat menjadi alternatif solusi untuk mengurangi permasalahan *clogging* pada proses pencetakan filamen komposit.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini muncul akibat terjadinya penyumbatan atau *clogging* pada *nozzle* standar saat mencetak filamen komposit PCL-Mg-HA menggunakan *3D printing* dengan metode *Fused Deposition Modeling* (FDM). Penyumbatan tersebut menyebabkan material filamen tidak dapat diekstrusi secara optimal, sehingga berpotensi menimbulkan kegagalan dalam proses pencetakan. Permasalahan ini dipengaruhi oleh tingginya nilai *pressure drop* pada *nozzle* yang dapat memicu terjadinya *feeding slip*, yang menunjukkan bahwa desain *nozzle* standar belum sesuai dengan karakteristik filamen komposit PCL-Mg-HA. Oleh karena itu, diperlukan modifikasi geometri *nozzle* melalui variasi panjang *outlet*, sudut *nozzle*, dan diameter *nozzle* dengan menggunakan metode Taguchi serta analisis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap nilai *pressure drop* dan performa pencetakan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah diatas, pertanyaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh modifikasi variasi diameter *nozzle*, sudut *nozzle*, dan panjang *outlet* terhadap nilai *pressure drop* pada proses ekstrusi filamen komposit PCL-Mg-HA berdasarkan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD)?
2. Bagaimana performa *nozzle* hasil modifikasi terhadap keberhasilan proses pencetakan dan kualitas hasil cetak filamen komposit PCL-Mg-HA?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh modifikasi variasi diameter *nozzle*, sudut *nozzle*, dan panjang *outlet* terhadap nilai *pressure drop* pada proses ekstrusi filamen komposit PCL-Mg-HA berdasarkan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD).
2. Menganalisis performa *nozzle* hasil modifikasi terhadap keberhasilan proses pencetakan dan kualitas hasil cetak filamen komposit PCL-Mg-HA.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi Mahasiswa
 - a. Memberikan pengalaman langsung kepada peneliti dalam merancang, memodifikasi, dan menguji *nozzle 3D printing*.
 - b. Menambah pemahaman dan wawasan peneliti mengenai proses pencetakan *3D printing* metode FDM, khususnya dalam penggunaan material filamen komposit PCL-Mg-HA.
2. Bagi Akademik
 - a. Menambah referensi dan literatur ilmiah di bidang manufaktur aditif, khususnya terkait pengembangan dan modifikasi *nozzle 3D printing* untuk aplikasi filamen komposit.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- b. Menjadi bahan acuan bagi penelitian selanjutnya yang membahas perancangan *nozzle*, permasalahan *clogging*, serta peningkatan performa pencetakan 3D *printing* FDM.

1.6 Batasan Masalah

Batasan Masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini hanya membahas modifikasi geometri *nozzle* untuk aplikasi filamen komposit PCL-Mg-HA.
2. Filamen yang digunakan untuk pencetakan adalah filamen komposit PCL-Mg-HA.
3. Metode pencetakan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Fused Deposit Modeling*.
4. Sistem ekstrusi yang digunakan adalah *direct drive*.
5. Analisis dilakukan dengan menggunakan software Ansys dan hanya memfokuskan analisis *pressure drop* pada *nozzle* untuk aplikasi filamen komposit PCL-Mg-HA.
6. Validasi dilakukan dengan cara mencetak filamen PCL-Mg-HA dengan komposisi yang berbeda untuk mengetahui performa *nozzle*.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang dalam penelitian modifikasi *nozzle* 3D *printing* untuk Aplikasi Filamen Komposit PCL-Mg-HA, rumusan masalah, pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan mengenai landasan teori dan studi literatur yang berkaitan dengan penelitian modifikasi *nozzle* 3D *printing*. Pada bab ini dibahas teori mengenai 3D *printing*, metode pencetakan *fused deposit modeling* (FDM), sistem *extruder*, filamen komposit PCL-Mg-HA, definisi *nozzle* 3D *printing*,



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

fenomena *clogging*, metode Taguchi, serta analisis *computational fluid dynamics* (CFD) dan Analisis ANOVA.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang jenis penelitian, objek penelitian, jenis dan sumber data penelitian, metode pengumpulan data, dan diagram alir penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan data hasil penelitian dan analisa dari penelitian modifikasi *nozzle 3D printing* untuk aplikasi filamen komposit PCL-Mg-HA.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini menyajikan kesimpulan yang yang menjawab permasalahan dan tujuan penelitian, serta memuat saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai optimasi geometri *nozzle* pada proses 3D *printing* filamen komposit PCL-Mg-HA, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian, modifikasi geometri *nozzle* yang meliputi variasi diameter *nozzle*, sudut *nozzle*, dan panjang *outlet* mempengaruhi nilai *pressure drop* pada proses ekstrusi filamen komposit PCL-Mg-HA. Hasil simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menunjukkan bahwa semakin besar diameter *nozzle* dan sudut *nozzle*, maka nilai *pressure drop* yang dihasilkan cenderung semakin rendah. Selanjutnya, hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa diameter *nozzle* merupakan faktor yang berpengaruh signifikan terhadap nilai *pressure drop*, sedangkan sudut *nozzle* dan panjang *outlet nozzle* menunjukkan kecenderungan dalam mempengaruhi nilai *pressure drop*, namun pengaruhnya tidak terlalu signifikan. Berdasarkan analisis menggunakan metode Taguchi, kombinasi parameter terbaik diperoleh pada *nozzle* dengan diameter 1,2 mm, sudut 120°, dan panjang *outlet* 0,5 mm.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *nozzle* hasil optimasi memiliki performa yang baik dalam proses pencetakan filamen komposit PCL-Mg-HA. *Nozzle* Desain 9 mampu mencetak 9 sampel dengan komposisi yang berbeda dan tanpa mengalami *clogging* selama proses ekstrusi. Selain itu, hasil pengukuran dimensi menunjukkan penyimpangan yang relatif kecil, yaitu 0,004 mm pada sumbu X, 0,08 mm pada sumbu Y, dan -0,07 mm pada sumbu Z.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut:



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut terhadap parameter *slicer* untuk memperoleh setting yang lebih optimal sehingga dapat meningkatkan kualitas hasil cetak filamen komposit PCL-Mg-HA.
2. Disarankan penggunaan mesin 3D *printing* yang memiliki kemampuan pengaturan suhu *nozzle* di bawah 180°C agar dapat menyesuaikan dengan karakteristik suhu leleh Polycaprolactone (PCL) yang berada pada kisaran sekitar 60°C.
3. Dapat dilakukan pengembangan desain *nozzle* dengan menggunakan material yang memiliki konduktivitas termal lebih tinggi dibandingkan kuningan, guna meningkatkan efisiensi perpindahan panas pada proses pemanasan dan pelelehan material.
4. Perlu dilakukan pengembangan sistem pengukuran yang menggunakan sensor seperti *load cell* atau sensor tekanan lainnya yang mampu mendeteksi perubahan gaya atau tekanan secara langsung pada area *nozzle*, sehingga nilai *pressure drop* dapat diukur secara lebih akurat dan real-time selama proses ekstrusi berlangsung.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Ma'mun, J. Supriyanto, G. Khusnun Naufal, A. Burhanudin, and R. Hermana, "Analisis Kekuatan Hasil Printer 3D Dengan Filamen Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) Berdasarkan Variasi Suhu Nosel dan Jenis Isian," *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, vol. 4, no. 2, pp. 128–135, Aug. 2025, doi: 10.56862/irajtma.v4i2.247.
- [2] N. Dewantoro Ahmad, J. Mulyanti, Y. P. Pamungkas, J. T. Mesin, and U. Janabadra, "Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi (ReTII) ke-20 344 Institut Teknologi Nasional Yogyakarta," pp. 344–349, 2025, [Online]. Available: <http://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII>
- [3] Arrya Alfarizi, "FABRIKASI DAN EVALUASI HASIL PRODUK MESIN 3D PRINTER COREXY BERBASIS ARDUINO PADA FILAMEN PLA (POLYLACTIC ACID) MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI," 2025.
- [4] H. Mastriswadi, M. K. Herliansyah, W. P. Sari, A. E. Tontowi, and Herianto, "The Bibliometric Analysis of 3D Printer Research Development and Opportunities in Indonesia," *International Journal of Technology*, vol. 16, no. 3, pp. 865–881, 2025, doi: 10.14716/ijtech.v16i3.6059.
- [5] T. H. Saputra, A. S. Utama, A. Ningsih, and H. A. Pamasaria, "ANALISA PARAMETER 3D PRINTING TIPE FDM TERHADAP AKURASI DIMENSI DENGAN FILAMEN BERBAHAN DAUR ULANG PLASTIK LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) DAN POLYPROPYLENE (PP)," *Sebatik*, vol. 26, no. 1, pp. 9–16, Jun. 2022, doi: 10.46984/sebatik.v26i1.1682.
- [6] N. D. Ahmad, S. Sukanto, and B. R. Pratama, "Pengaruh Penambahan Pigmen Warna pada Filamen PLA SUNLU Colors dan SUNLU Natural," *Jurnal Mesin Nusantara*, vol. 7, no. 1, pp. 102–112, Jun. 2024, doi: 10.29407/jmn.v7i1.21891.
- [7] V. Nanda, F. A. Wijanarko, Dhiya Luqyana, M. Muslimin, and Azam Milah Muhamad, "Pembuatan Komposit Filamen 3D Printing dengan Matriks Polypropylene (PP) dan Penguat Serat Kulit Jagung untuk Aplikasi Prototype Handle Rem Sepeda," *Jurnal Mekanik Terapan*, vol. 5, no. 3, pp. 144–152, Feb. 2025, doi: 10.32722/jmt.v5i3.7097.
- [8] * Muhammad, D. Naufal, A. Prihartoyo Bayuseno1, R. Ismail, and D. F. Fitriyana, "PENGARUH PENAMBAHAN HIDROKSIAPATIT TERHADAP KARAKTERISASI FILAMEN BIOKOMPOSIT (PCL/PLA/HA)," 2024.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [9] T. Schuller, M. Jalaal, P. Fanzio, and F. J. Galindo-Rosales, "Optimal shape design of printing nozzles for extrusion-based additive manufacturing," *Addit. Manuf.*, vol. 84, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.addma.2024.104130.
- [10] R. Hajili and M. Temirel, "Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis of 3D Printer Nozzle Designs," *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 13, no. 4, pp. 1233–1246, Dec. 2024, doi: 10.17798/bitlisfen.1543679.
- [11] J. Jiang, J. Wu, C. Fu, Z. Wang, H. Zhu, and J. Cai, "Research on Flow Simulation and Design Optimization of Large-size Fused Deposition Manufacturing Printing Nozzle," *Engineered Science*, 2025, doi: 10.30919/es1697.
- [12] Y. P. Shaik, J. Schuster, and N. K. Naidu, "High-Pressure FDM 3D Printing in Nitrogen [Inert Gas] and Improved Mechanical Performance of Printed Components," *Journal of Composites Science*, vol. 7, no. 4, Apr. 2023, doi: 10.3390/jcs7040153.
- [13] J. Mogan *et al.*, "Fused Deposition Modelling of Polymer Composite: A Progress," Jan. 01, 2023, *MDPI*. doi: 10.3390/polym15010028.
- [14] G. I. J. Salentijn, P. E. Oomen, M. Grajewski, and E. Verpoorte, "Fused Deposition Modeling 3D Printing for (Bio)analytical Device Fabrication: Procedures, Materials, and Applications," *Anal. Chem.*, vol. 89, no. 13, pp. 7053–7061, Jul. 2017, doi: 10.1021/acs.analchem.7b00828.
- [15] B. Aruanno, A. Paoli, A. V. Razionale, and F. Tamburrino, "Effect of printing parameters on extrusion-based additive manufacturing using highly filled CuSn12 filament," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 128, no. 3–4, pp. 1101–1114, Sep. 2023, doi: 10.1007/s00170-023-11919-8.
- [16] J. Teknik Mesin, F. Teknik, and U. Tidar, "JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING Pengaruh Parameter Proses Manufacturing Menggunakan 3D Printer Jenis FDM terhadap Ketangguhan Material Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG)," *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 0–000, 2023, [Online]. Available: <http://jurnal.untidar.ac.id/index.php/mechanical/index>
- [17] "BAB II-IV".
- [18] M. R. Hasan, I. J. Davies, A. Pramanik, M. John, and W. K. Biswas, "Potential of recycled PLA in 3D printing: A review," *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, vol. 3, p. 100020, 2024, doi: 10.1016/j.smse.2024.100020.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [19] W. D. Jr. R. D. G. Callister, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 10th ed. 2020.
- [20] U. L. Jamilah and E. Hidayah, "MODIFIKASI SERAT ALAM DAN KARAKTERISASINYA SEBAGAI PENGUAT MATERIAL KOMPOSIT," *Journal of Educational and Applied Science*, vol. 2, no. 1, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal.iaida.ac.id/index.php/jeas>
- [21] R. Dwivedi *et al.*, "Polycaprolactone as biomaterial for bone scaffolds: Review of literature," Jan. 01, 2020, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.jobcr.2019.10.003.
- [22] J. M. Chen, D. Lee, J. W. Yang, S. H. Lin, Y. T. Lin, and S. J. Liu, "Solution extrusion additive manufacturing of biodegradable polycaprolactone," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 9, May 2020, doi: 10.3390/app10093189.
- [23] X. Yang, Y. Wang, Y. Zhou, J. Chen, and Q. Wan, "The application of polycaprolactone in three-dimensional printing scaffolds for bone tissue engineering," Aug. 02, 2021, *MDPI AG*. doi: 10.3390/polym13162754.
- [24] D. Chen *et al.*, "A critical review of magnesium-based scaffolds for bone tissue engineering: Properties, production methods, surface treatments, and multiscale evaluation techniques," Jan. 01, 2025, *KeAi Communications Co.* doi: 10.1016/j.smmf.2025.100101.
- [25] N. Aboutalebianaraki, C. J. Neal, S. Seal, and M. Razavi, "Biodegradable Mg-Sc-Sr Alloy Improves Osteogenesis and Angiogenesis to Accelerate Bone Defect Restoration," *J. Funct. Biomater.*, vol. 13, no. 4, Dec. 2022, doi: 10.3390/jfb13040261.
- [26] I. B. Setiawan, "Ketahanan korosi pada paduan Mg-1Mn-HA sebagai bahan biomaterial hasil proses mechanosynthesis dalam media ringer lachtate," *Jurnal Kartika Kimia*, vol. 4, no. 1, May 2021, doi: 10.26874/jkk.v4i1.71.
- [27] T. Beran, T. Mulholland, F. Henning, N. Rudolph, and T. A. Osswald, "Nozzle Clogging Factors During Fused Filament Fabrication of Spherical Particle Filled Polymers."
- [28] G. Fernandez de Grado *et al.*, "Bone substitutes: a review of their characteristics, clinical use, and perspectives for large bone defects management," Jun. 02, 2018, *SAGE Publications Ltd.* doi: 10.1177/2041731418776819.
- [29] S. Biomaterial and T. Komposit, "PEMANFAATAN HIDROKSIAPATIT TULANG SAPI."



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [30] E. Daskalakis, M. H. Hassan, A. M. Omar, G. Cooper, A. Weightman, and P. Bartolo, "Rheological behaviour of different composite materials for additive manufacturing of 3D bone scaffolds," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 24, pp. 3670–3682, May 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.03.231.
- [31] Z. Jiao, B. Luo, S. Xiang, H. Ma, Y. Yu, and W. Yang, "3D printing of HA / PCL composite tissue engineering scaffolds," *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, vol. 2, no. 4, pp. 196–202, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.aiepr.2019.09.003.
- [32] M. P. Motloung, T. G. Mofokeng, and S. S. Ray, "Viscoelastic, thermal, and mechanical properties of melt-processed poly (ϵ -caprolactone) (pcl)/hydroxyapatite (hap) composites," *Materials*, vol. 15, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.3390/ma15010104.
- [33] B. Shaqour *et al.*, "Gaining a better understanding of the extrusion process in fused filament fabrication 3D printing: a review", doi: 10.1007/s00170-021-06918-6/Published.
- [34] B. Mallikarjuna, P. Bhargav, S. Hiremath, K. G. Jayachristiyan, and N. Jayanth, "A review on the melt extrusion-based fused deposition modeling (FDM): background, materials, process parameters and military applications," Feb. 01, 2025, *Springer-Verlag Italia s.r.l.* doi: 10.1007/s12008-023-01354-0.
- [35] P. Czyżewski, D. Marciniak, B. Nowinka, M. Borowiak, and M. Bieliński, "Influence of Extruder's Nozzle Diameter on the Improvement of Functional Properties of 3D-Printed PLA Products," *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 2, Jan. 2022, doi: 10.3390/polym14020356.
- [36] R. Hajili and M. Temirel, "Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis of 3D Printer Nozzle Designs," *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 13, no. 4, pp. 1233–1246, Dec. 2024, doi: 10.17798/bitlisfen.1543679.
- [37] Y. Yu *et al.*, "3D Printer Nozzle Structure Form Optimal Structural Analysis," *Processes*, vol. 12, no. 7, Jul. 2024, doi: 10.3390/pr12071482.
- [38] T. Jiang, Z. Huang, J. Li, Y. Zhou, and C. Xiong, "Effect of Nozzle Geometry on the Flow Dynamics and Resistance Inside and Outside the Cone-Straight Nozzle," *ACS Omega*, vol. 7, no. 11, pp. 9652–9665, Mar. 2022, doi: 10.1021/acsomega.1c07050.
- [39] D. Syrlybayev, B. Zharylkassyn, A. Seisekulova, M. Akhmetov, A. Perveen, and D. Talamona, "Optimisation of strength properties of FDM printed



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- parts—A critical review,” May 01, 2021, *MDPI AG*. doi: 10.3390/polym13101587.
- [40] W. Kiński and P. Pietkiewicz, “Influence of the Printing Nozzle Diameter on Tensile Strength of Produced 3D Models in FDM Technology,” *Agricultural Engineering*, vol. 24, no. 3, pp. 31–38, Sep. 2020, doi: 10.1515/agriceng-2020-0024.
- [41] K. P. K. Ajjarapu, R. Mishra, R. Malhotra, and K. H. Kate, “Mapping 3D printed part density and filament flow characteristics in the material extrusion (MEX) process for filled and unfilled polymers,” *Virtual Phys. Prototyp.*, vol. 19, no. 1, 2024, doi: 10.1080/17452759.2024.2331206.
- [42] F. M. White, *Fluid Mechanics*, 8th ed. 2016.
- [43] H. Zhang, L. Zhang, H. Zhang, J. Wu, X. An, and D. Yang, “Fibre bridging and nozzle clogging in 3D printing of discontinuous carbon fibre-reinforced polymer composites: coupled CFD-DEM modelling”, doi: 10.1007/s00170-021-07913-7/Published.
- [44] M. Moretti and A. Rossi, “Closed-Loop Filament Feed Control in Fused Filament Fabrication,” *3D Print. Addit. Manuf.*, vol. 10, no. 3, pp. 500–513, Jun. 2023, doi: 10.1089/3dp.2021.0236.
- [45] M. Baechle-Clayton, E. Loos, M. Taheri, and H. Taheri, “Failures and Flaws in Fused Deposition Modeling (FDM) Additively Manufactured Polymers and Composites,” Jul. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/jcs6070202.
- [46] “RANCANG BANGUN PURWARUPA RUANG PENERING KERAMIK.”
- [47] A. Jankovic, G. Chaudhary, and F. Goia, “Designing the design of experiments (DOE) – An investigation on the influence of different factorial designs on the characterization of complex systems,” *Energy Build.*, vol. 250, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111298.
- [48] N. Margaretha and Y. Ekawati, “Desain Eksperimen Taguchi terhadap Faktor Lingkungan Kerja untuk Menurunkan Tingkat Produk Cacat,” *Journal of Integrated System*, vol. 8, no. 1, pp. 1–15, Jun. 2025, doi: 10.28932/jis.v8i1.11202.
- [49] G. Dwijuna Ahadi, S. Wahyu Pratiwi, and D. Putri Isnarwaty, “Pendekatan Desain Eksperimen Taguchi sebagai Metode Optimasi pada Bidang Teknik dan Industri (studi kasus pada proses bundling kemasan) Design of Experiment Taguchi as an Optimisation Method in Engineering and Industry,” 2023.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [50] B. E. Yuce, P. V. Nielsen, and P. Wargocki, "The use of Taguchi, ANOVA, and GRA methods to optimize CFD analyses of ventilation performance in buildings," *Build. Environ.*, vol. 225, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109587.
- [51] Y. P. Ndeo, V. A. Koehuan, and W. Bunganaen, "Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) Rumah Pengereng Kopi Menggunakan Plastik UltraViolet (UV) Solar Dryer," 2021, [Online]. Available: <http://ejurnal.undana.ac.id/index.php/LJTMU>
- [52] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 10th ed. Hoboken, New Jersey, 2019.
- [53] H. Ahmad Latif, I. Abdul Rosid, G. Supriyanto Dewi, and M. Gratiana Dian Jatiningsih, "OPTIMASI MULTI PARAMETER MESIN 3D PRINTER FDM UNTUK MATERIAL THERMOPLASTIC POLYURETHANE GUNA MENGHASILKAN ERROR DIMENSI TERKECIL MENGGUNAKAN METODE 2 K FACTORIAL DESIGN," 2024.
- [54] A. Mohammed and A. Abdullah, "Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review."
- [55] V. D. Hodoroaba, "Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS)," in *Characterization of Nanoparticles: Measurement Processes for Nanoparticles*, Elsevier, 2019, pp. 397–417. doi: 10.1016/B978-0-12-814182-3.00021-3.
- [56] P. : Cartika *et al.*, *METODE PENELITIAN KUANTITATIF STATISTIK DAN ANALISIS DATA*. [Online]. Available: <http://mmfast.id/>
- [57] S. Tillmann, F. A. González, and S. Elgeti, "Numerical Optimization of Nozzle Shapes for Fused Deposition Modeling," Nov. 2025, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2511.21449>
- [58] R. Fenny Muldiani, K. Hadiningrum, and D. Pratama, "Experiments for Determining the Thermal Conductivity of Brass and 304 Stainless Steel with Direct Temperature Measurement Techniques Using Lorenz Number as Validation," 2021.
- [59] "BAB II-IV (1)".
- [60] Y. Tao *et al.*, "A review on voids of 3D printed parts by fused filament fabrication," Nov. 01, 2021, *Elsevier Editora Ltda.* doi: 10.1016/j.jmrt.2021.10.108.
- [61] K. M. V, R. R, P. K. J, and A. P. R, "Experimental Analysis of the Stringing Problem in FDM Printers," European Alliance for Innovation n.o., Jun. 2024. doi: 10.4108/eai.23-2-2024.2346991.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [62] J. George and D. Bhattacharyya, "Biocarbon reinforced polypropylene composite: An investigation of mechanical and filler behavior through advanced dynamic atomic force microscopy and x-ray micro ct," *Express Polym. Lett.*, vol. 15, no. 3, pp. 224–235, Mar. 2021, doi: 10.3144/expresspolymlett.2021.20.



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 *Drawing Nozzle Standar*



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

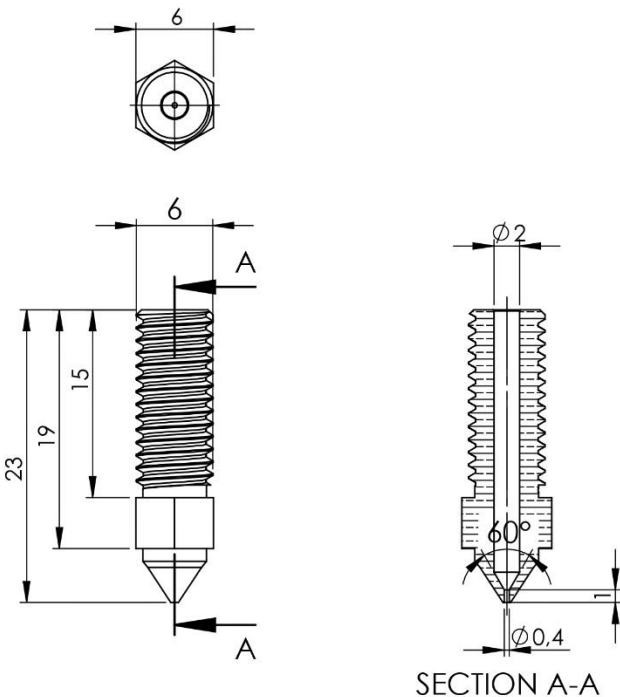
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



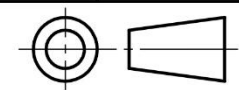


b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tingkat dan Harga Kekasaran						Toleransi								
N12	50	N8	3.2	N4	0.2	Ukuran nominal (mm)		>0,5-3	>3-6	>6-30	>30-120	>120-315	>315-1000	>1000-3000
N11	25	N7	1.6	N3	0.1	Variasi yang dizinkan	Seri Teliti	±0,5	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,2	±0,2
N10	12.5	N6	0.8	N2	0.05		Seri Sedang	±0,1	±0,05	±0,2	±0,3	±0,5	±0,5	±0,5
N9	6.3	N5	0.4	N1	0.025		Seri Kasar		±0,2	±0,5	±0,8	±1,2	±1,2	±1,2




SECTION A-A

I	NOZZLE STANDAR	Kuningan	23x6x6	
Jumlah	Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran
III	II	I	Perubahan :	
				
DESAIN NOZZLE STANDAR			Skala	Digambar 22072026 Bintang
			1 : 1	Diperiksa
Politeknik Negeri Jakarta			No : 01/ Man 8B	

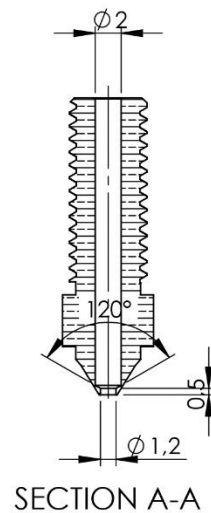
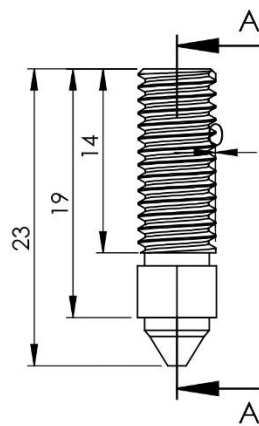
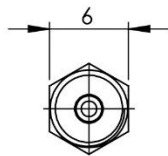
Lampiran 2 Drawing Desain *Nozzle* Optimal

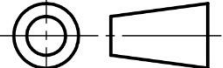
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tingkat dan Harga Kekasaran						Toleransi								
N12	50	N8	3.2	N4	0.2	Ukuran nominal (mm)		>0,5-3	>3-6	>6-30	>30-120	>120-315	>315-1000	>1000-3000
N11	25	N7	1.6	N3	0.1	Variasi yang dizinkan	Seri Teliti	±0,5	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,2	±0,2
N10	12.5	N6	0.8	N2	0.05		Seri Sedang	±0,1	±0,05	±0,2	±0,3	±0,5	±0,5	±0,5
N9	6.3	N5	0.4	N1	0.025		Seri Kasar		±0,2	±0,5	±0,8	±1,2	±1,2	±1,2



		I	NOZZLE D25		Kuningan	23x6x6	
Jumlah			Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	II	I	Perubahan :				
			DESAIN NOZZLE D25			Skala	Digambar
						1 : 1	Diperiksa
			Politeknik Negeri Jakarta			No : 02/ Man 8B	

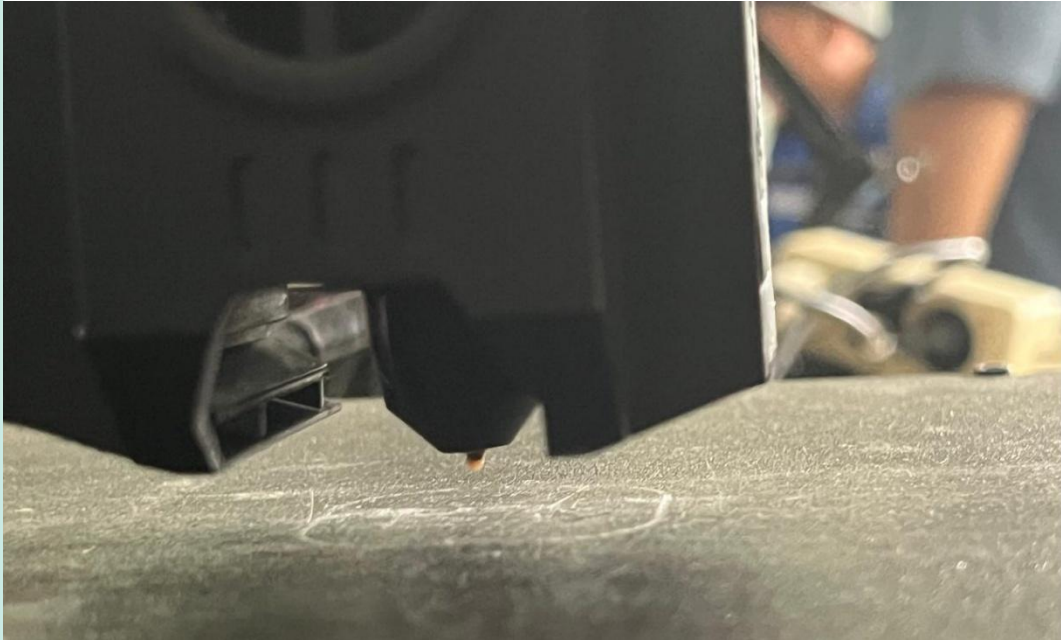


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 3 *Clogging* pada *Nozzle* Standar saat mencetak filamen PCL-Mg-HA



Lampiran 4 Proses Pencetakan Sampel 1



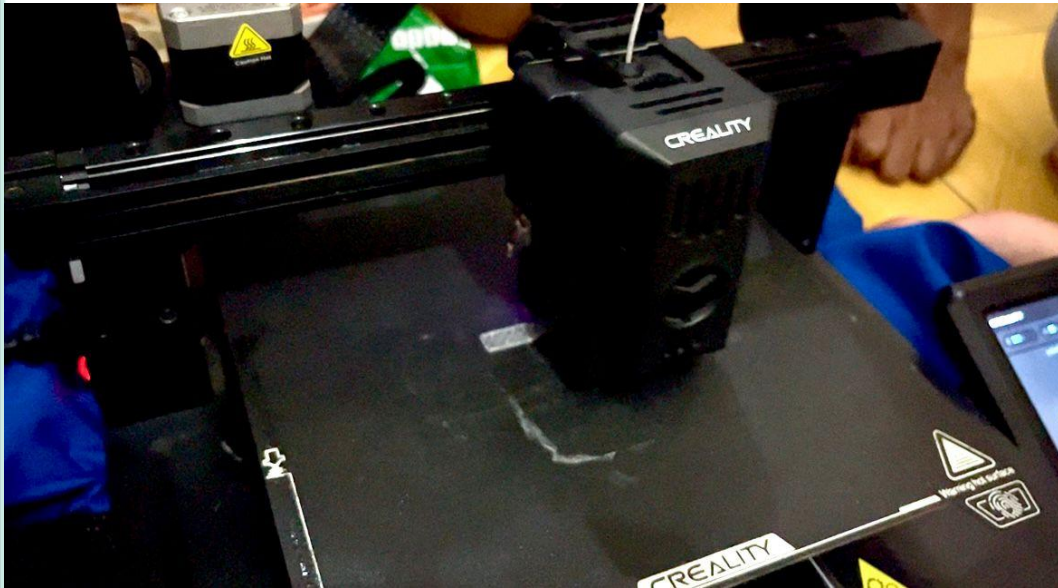


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 5 Proses Pencetakan Sampel 2



Lampiran 6 Proses Pencetakan Sampel 3





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 7 Proses Pencetakan Sampel 4



Lampiran 8 Proses Pencetakan Sampel 5





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 9 Proses Pencetakan Sampel 6



Lampiran 10 Proses Pencetakan Sampel 7





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

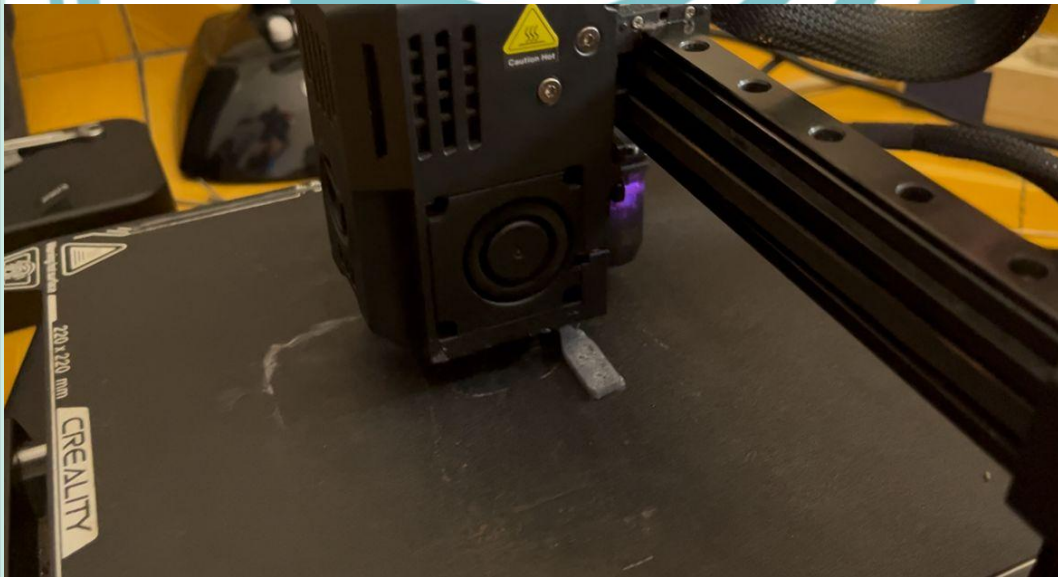
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 11 Proses Pencetakan Sampel 8



Lampiran 12 Proses Pencetakan Sampel 9



Lampiran 13 Pengukuran dimensi sampel 1





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 14 Pengukuran dimensi sampel 2



Lampiran 15 Pengukuran dimensi sampel 3



Lampiran 16 Pengukuran dimensi sampel 4



Lampiran 17 Pengukuran dimensi sampel 5



Lampiran 18 Pengukuran dimensi sampel 6





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 19 Pengukuran dimensi sampel 7



Lampiran 20 Pengukuran dimensi sampel 8



Lampiran 21 Pengukuran dimensi sampel 9



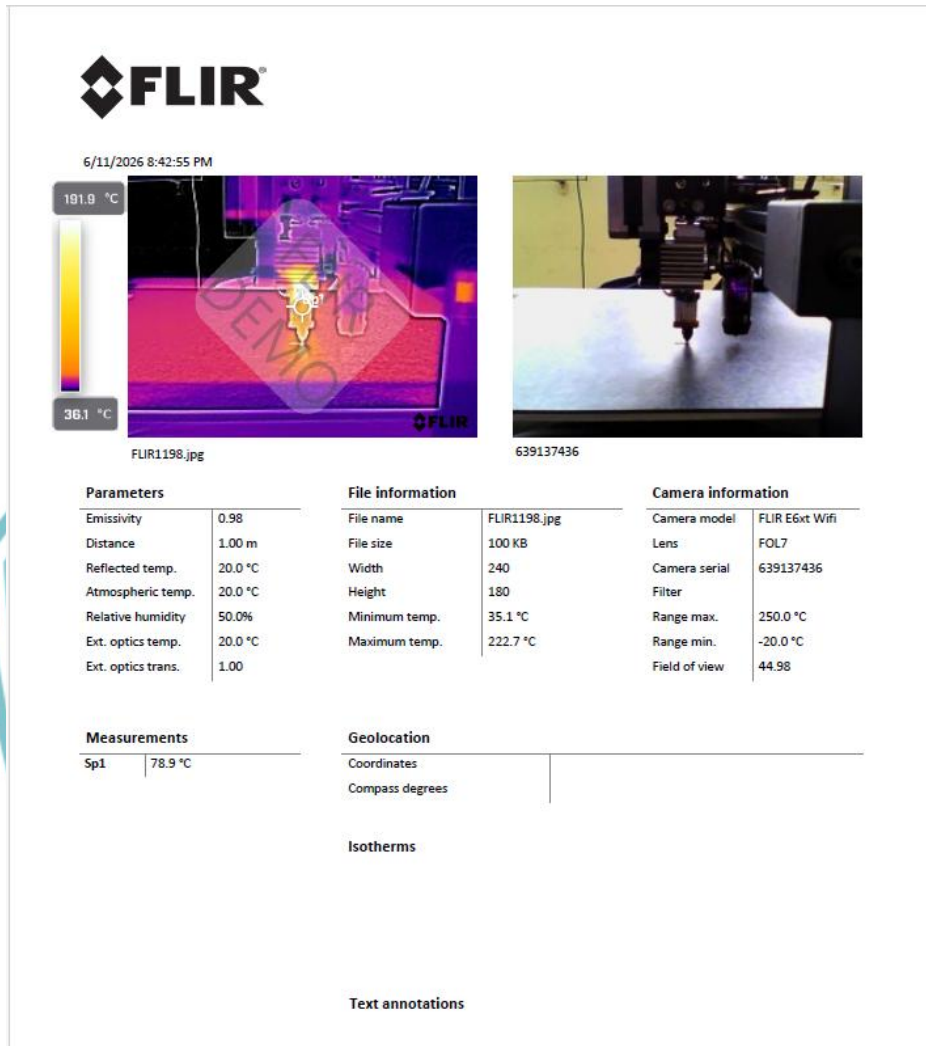
**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Lampiran 22 Hasil Uji Foto Thermal FLIR

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penerbitan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Lampiran 23 Hasil Uji SEM EDS 500 Sampel 9

Hak Cipta :

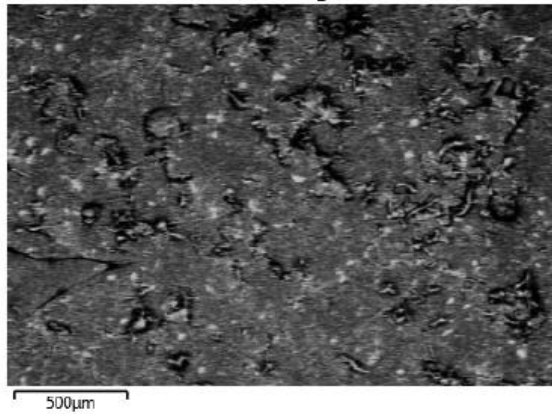
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Project 1

6/23/2026

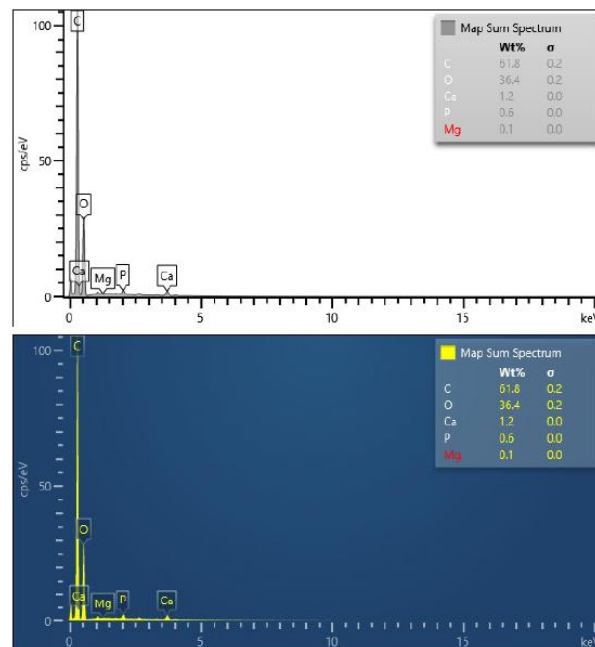
6/17/2026 11:24:37 AM
Project 1
Specimen 34
Site 1

Electron Image 34



Project 1

6/23/2026





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penerbitan karya ilmiah, penerbitan laporan, penerbitan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Project 1

6/23/2026

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
C	K series	152.14	1.52142	61.81	0.17	C Vit	Yes	
O	K series	92.23	0.31037	36.39	0.17	SiO2	Yes	
Mg	K series	0.24	0.00156	0.07	0.02	MgO	Yes	
P	K series	3.01	0.01681	0.57	0.02	GaP	Yes	
Ca	K series	4.03	0.03599	1.15	0.03	Wollastonite	Yes	
Total:				100.00				

General Information	
Label	Map Sum Spectrum
Acquisition Date	6/17/2026 11:28:49 AM
Acquisition Conditions	
Live Time (seconds)	36.7
Real Time (seconds)	44.5
Process Time	4
Energy Range (keV)	20
Number Of Channels	2048
Energy per Channel (eV)	10.0
Accelerating Voltage (kV)	15.0
Magnification	400.0
Working Distance (mm)	10.7
Specimen Tilt (degrees)	0.0
Spectrum Information	
Spectrum Area (counts)	502302.0
Spectrum Count Rate (cps)	11287.5
Pulse Pile Up Correction	Succeeded
Strobe Information	
Strobe Resolution (eV)	50.95
Strobe Area (counts)	669154.0
Energy Calibration Information	
Calibration Date	7/3/2020 4:52:48 PM
Calibration Peak	Manganese K Series
Gain Calibration (eV/channel)	10.0039
Beam Calibration Information	
Calibration Date	1/1/0001 12:00:00 AM
Calibration Peak	

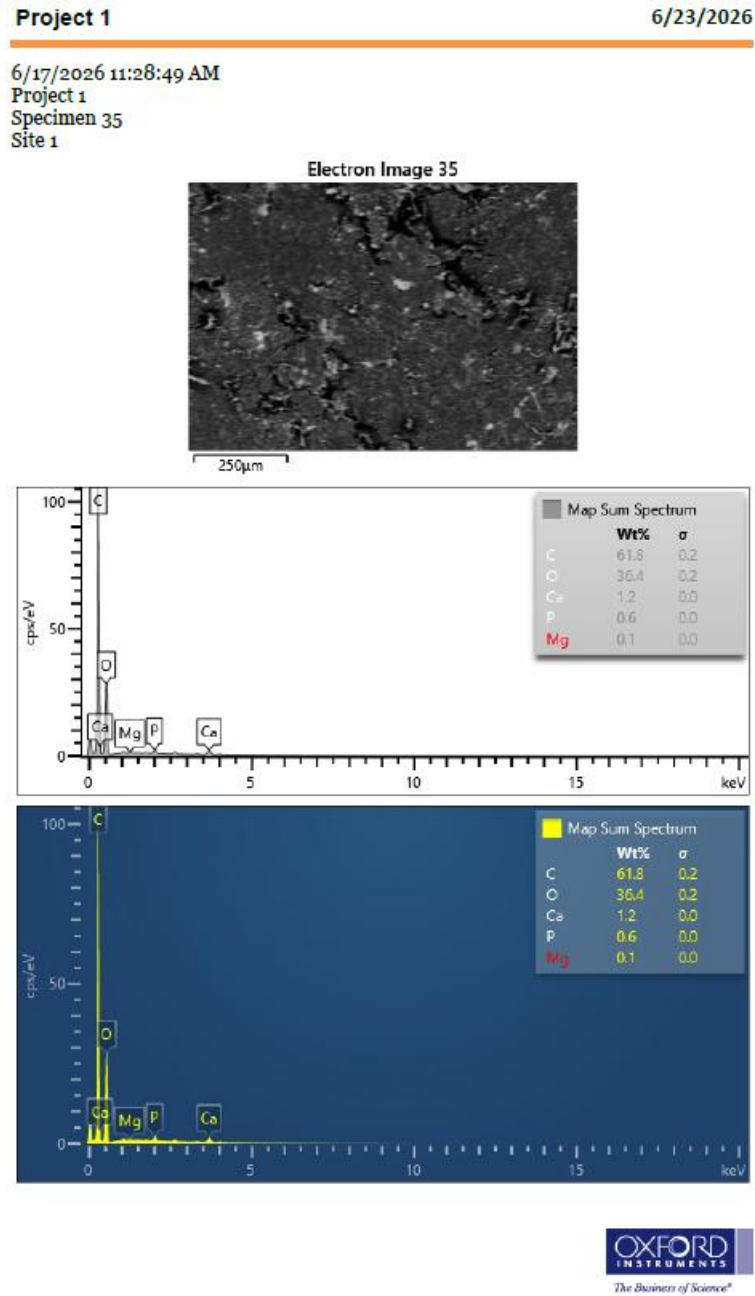


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 24 Hasil Uji SEM EDS 250 Sampel 9





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penerbitan karya ilmiah, penerbitan laporan, penerbitan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Project 1

6/23/2026

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label	Factory Standard	Standard Calibration Date
C	K series	151.69	1.51695	61.77	0.17	C Vit	Yes	
O	K series	91.93	0.30935	36.42	0.17	SiO2	Yes	
Mg	K series	0.18	0.00120	0.05	0.02	MgO	Yes	
P	K series	2.92	0.01631	0.56	0.02	GaP	Yes	
Ca	K series	4.18	0.03731	1.20	0.03	Wollastonite	Yes	
Total:				100.00				

General Information	
Label	Map Sum Spectrum
Acquisition Date	6/17/2026 11:24:37 AM
Acquisition Conditions	
Live Time (seconds)	36.6
Real Time (seconds)	44.6
Process Time	4
Energy Range (keV)	20
Number Of Channels	2048
Energy per Channel (eV)	10.0
Accelerating Voltage (kV)	15.0
Magnification	170.0
Working Distance (mm)	10.4
Specimen Tilt (degrees)	0.0
Spectrum Information	
Spectrum Area (counts)	505779.0
Spectrum Count Rate (cps)	11342.0
Pulse Pile Up Correction	Succeeded
Strobe Information	
Strobe Resolution (eV)	51.30
Strobe Area (counts)	669534.0
Energy Calibration Information	
Calibration Date	7/3/2020 4:52:48 PM
Calibration Peak	Manganese K Series
Gain Calibration (eV/channel)	10.0039
Beam Calibration Information	
Calibration Date	1/1/0001 12:00:00 AM
Calibration Peak	
Peak Area (counts)	0.0
Process Time	0