



© 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



**FABRIKASI FILAMEN *POLYCAPROLACTONE* –
MAGNESIUM – HYDROXYAPATITE UNTUK APLIKASI
*SCAFFOLD BONE***

SKRIPSI

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh:

Dedy Hendra Jati

NIM. 2102411010

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JULI, 2025



© 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



**FABRIKASI FILAMEN *POLYCAPROLACTONE* –
MAGNESIUM – HYDROXYAPATITE UNTUK APLIKASI
*SCAFFOLD BONE***

SKRIPSI

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

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh:

Dedy Hendra Jati

NIM. 2102411010

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JULI, 2025



*“Skripsi ini kupersembahkan untuk tiga orang paling berjasa dalam hidup ku,
mama, bapak dan kakakku. It's not over.”*

© 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





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

FABRIKASI FILAMEN *POLYCAPROLACTONE – MAGNESIUM – HYDROXYAPATITE* UNTUK APLIKASI *SCAFFOLD BONE*

Oleh:
Dedy Hendra Jati
NIM. 2102411010
Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

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

Pembimbing 2

Dhiya Luqyana, S.Tr.T., M.T.
NIP. 199809212024062001

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Muhammad Prasha Risfi Silitonga, M.T.
NIP. 199403192022031006

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

FABRIKASI FILAMEN *POLYCAPROLACTONE – MAGNESIUM – HYDROXYAPATITE* UNTUK APLIKASI *SCAFFOLD BONE*

Oleh:

Dedy Hendra Jati

2102411010

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang Sarjana Terapan atau Skripsi di hadapan Dewan
Penguji pada tanggal 24 Juli 2025 dan diterima sebagai
persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan (Diploma IV) 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		31/07 2025
2.	Drs., Nugroho Eko Setijogiarto, Dipl.Ing., M.T.. NIP. 196512131992031001	Anggota		25/07 2025
3.	Drs., Almahdi, M.T. NIP. 196001221987031002	Anggota		25/7 2025

Depok, 2025

Disahkan Oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

NIP. 197707142008121005



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 PENGESAHAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dedy Hendra Jati

NIM : 2102411010

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, 24 Juli 2025



Dedy Hendra Jati

NIM. 2102411010



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

FABRIKASI FILAMEN *POLYCAPROLACTONE* – *MAGNESIUM* – *HYDROXYAPATITE* UNTUK APLIKASI *SCAFFOLD BONE*

Dedy Hendra Jati¹⁾, Muslimin²⁾, Dhiya Luqyana¹⁾

¹⁾ Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa 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

Email: dedy.hendra.jati.tm21@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRAK

Scaffold bone merupakan struktur atau kerangka buatan yang digunakan untuk menambal kerusakan sementara pada tulang. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh keterbatasan penelitian mengenai *material* filamen untuk pembuatan *scaffold* dan keseimbangan mekanik yang masih di batas bawah tulang *cortical* manusia. Proses pembuatan filamen dilakukan menggunakan mesin *ekstruder* dengan variasi suhu 65°C, 70°C, 75°C dan komposisi *Mg*, *HA* dengan variasi 3%, 5%, 10%. Metode Taguchi digunakan untuk mengevaluasi parameter proses dengan efisien, menentukan kombinasi, menghemat waktu dan biaya. Hasil pengukuran diameter menunjukkan bahwa suhu 65°C menghasilkan diameter yang lebih stabil dan mendekati 1,75 mm dibandingkan suhu yang lebih tinggi. Namun pada hasil *swell ratio*, masih menghasilkan nilai dibawah 1 yang menunjukkan bahwa diameter mengecil. Pada hasil uji tarik, kombinasi terbaik dengan nilai tertinggi terdapat pada kode H (*Mg* 5%, *HA* 3%, dan suhu 75°C) dengan nilai 10,49 MPa (filamen 1) dan 11,47 MPa (filamen 2). Sementara itu, hasil *SNR* menunjukkan bahwa magnesium adalah faktor yang paling berpengaruh terhadap uji tarik, dengan hasil optimal 5%. Grafik respon rata-rata merekomendasikan suhu 65°C, *Mg* 5% dan *HA* 3% sebagai parameter terbaik untuk memperoleh filamen dengan kekuatan tarik optimal. Pada uji *SEM* di filamen H2 menunjukkan masih ada tonjolan dan lapisan berlapis, namun tidak terlihat *void*.

Kata Kunci: *Scaffold bone*, filamen, *Taguchi*, *SNR*, *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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

FABRIKASI FILAMEN *POLYCAPROLACTONE* – *MAGNESIUM* – *HYDROXYAPATITE* UNTUK APLIKASI *SCAFFOLD BONE*

Dedy Hendra Jati¹⁾, Muslimin²⁾, Dhiya Luqyana¹⁾

¹⁾ Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa 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

Email: dedy.hendra.jati.tm21@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRACT

Scaffold bone is an artificial structure or framework used to repair bone damage temporarily. This research is motivated by the limitations of existing studies on filament materials for scaffold production and the mechanical balance that remains at the lower limit of human Cortical Bone. The filament production process was carried out using an Extruder machine with temperature variations of 65°C, 70°C, and 75°C, and Mg, HA compositions with variations of 3%, 5%, and 10%. The Taguchi method was employed to efficiently evaluate process parameters, identify optimal combinations, and reduce time and costs. Measurement results show that a temperature of 65°C produces a more stable diameter, approaching 1.75 mm, compared to higher temperatures. However, in the swell ratio results, it still produced a value below one, which indicates that the diameter decreases. In the Tensile test results, the best combination, with the highest values, is found in code H (Mg 5%, HA 3%, and temperature 75°C), yielding values of 10.49 MPa (Filament 1) and 11.47 MPa (Filament 2). Meanwhile, the SNR results show that magnesium is the most influential factor in the tensile test, with an optimal result of 5%. The average response graph recommends a temperature of 65°C, a magnesium concentration of 5%, and an HA concentration of 3% as the optimal parameters to obtain filaments with the best Tensile Strength. In the SEM test of filament H2, there are still protrusions and layered structures present, but no voids are visible.

Kata Kunci: *Scaffold bone, filament, Taguchi, SNR, 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Fabrikasi Filamen *Polycaprolactone* – *Magnesium* – *Hydroxyapatite* untuk Aplikasi *Scaffold bone*”** dengan baik dan tepat pada waktunya. Selanjutnya, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu dan memberi dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T., M.T., IWE. selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta dan Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan masukan, bimbingan dan pengarahan dalam penulisan skripsi ini.
2. Bapak Muhammad Prasha Risfi Silitonga, M.T. selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.
3. Ibu Dhiya Luqyana, S.Tr.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah membimbing dan memberi arahan kepada penulis dalam menyusun skripsi.
4. Kedua orang tuaku dan kakak yang telah memberikan dukungan dan doa kepada penulis, baik selama menjalani perkuliahan maupun dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Teman – teman Manufaktur 2021: Satrio Adhiyanto, Alif Anandahari, Aditya Adriansyah, M. Dava Ramadhan, Fyra Dwi Nafisya, Laeliah Adila Putri dan teman teman kelas saya yang lain.
6. Ramdan Syaifulloh, Haikal Abu Dzar Al Ghifari, Haikal Abu Dzar, Tri Andi Priambudi, Chika Mutiara Syafira sebagai teman magang saya dan teman sekelas saya.
7. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, namun telah memberikan bantuan, doa, semangat, maupun kontribusi dalam berbagai bentuk selama proses penyusunan skripsi ini.

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

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dalam berbagai aspek. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan guna perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya serta menjadi kontribusi positif dalam bidang yang dibahas.

Depok, 24 Juli 2025



Dedy Hendra Jati

NIM. 2102411010





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.....	iii
SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
SKRIPSI.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN ORISINALITAS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Tulang <i>Cortical</i>	7
2.2 <i>Scaffold bone</i>	8
2.2.1 <i>Polycaprolactone</i>	9
2.2.2 <i>Magnesium</i>	9
2.2.3 <i>Hydroxyapatite</i>	10
2.3 <i>Extruder</i>	11
2.4 <i>3D Printing</i>	12
2.5 Filamen.....	14
2.6 Metode Taguchi	15
2.6.1 Faktor dan Level	15
2.6.2 Derajat kebebasan (<i>Degree of Freedom</i>)	15



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

2.6.3 Orthogonal array (OA).....	16
2.6.4 Signal To Noise Ratio (SNR).....	16
2.6.5 Tabel Respon Rata-rata SNR	17
2.7 Swell Ratio.....	18
2.8 Pengujian Tarik (<i>Tensile Test</i>).....	18
2.8.1 <i>Tensile Test</i>	20
2.8.2 <i>Modulus elastisitas (Young's Modulus)</i>	21
2.9 SEM-EDS (<i>Scanning Elektron Microscope - Energy Dispersive Spectroscopy</i>).....	23
2.10 Kajian Literatur	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	30
3.1 Jenis penelitian	30
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	32
3.3 Penjelasan Diagram Alir Penelitian.....	33
3.4 Jenis dan Sumber Data Penelitian	37
3.5 Metode Pengumpulan Data Penelitian	37
3.6 Metode Analisis Data	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 <i>Design</i> Komposisi Filamen dengan Metode Taguchi.....	38
4.1.1 Faktor dan Level	38
4.1.2 Derajat kebebasan (<i>Degree of Freedom</i>)	38
4.1.3 <i>Orthogonal array (OA)</i>	39
4.1.4 Data Parameter <i>Ekstrusi</i>	39
4.2 Hasil Ekstrusi Filamen	40
4.3 Hasil Pengukuran Diameter Filamen	41
4.4 <i>Swell Ratio</i>	43
4.5 Hasil Uji Tarik	44
4.5.1 <i>Tensile Strength</i>	45
4.5.2 <i>Modulus elastisitas</i>	48
4.6 SEM-EDS.....	50
4.7 Analisis Kegagalan pada Proses Cetak.....	53
4.7.1 Suhu <i>Nozzle</i>	53

4.7.2 <i>Material dan Infill Pattern</i>	54
4.7.3 Variasi Diameter Filamen	55
BAB V PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	65



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

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 GAMBAR

Gambar 1. 1 Data Riskesdas Cedera Fisik	3
Gambar 2. 1 <i>Cortical Bone</i>	7
Gambar 2. 2 Ilustrasi <i>Scaffold bone</i> pada Tulang Femur	8
Gambar 2. 3 Ilustrasi Cara Kerja Mesin <i>Extruder</i>	11
Gambar 2. 4 Ilustrasi mesin <i>3D print FDM</i>	12
Gambar 2. 5 <i>Creality Ender 3 V3 SE</i>	13
Gambar 2. 6 <i>Software Ultimaker Cura</i>	13
Gambar 2. 7 Ilustrasi Filamen	14
Gambar 2. 8 Ilustrasi Uji Tarik	19
Gambar 2. 9 Standar Uji Filamen	19
Gambar 2. 10 <i>Hooke Region</i>	22
Gambar 2. 11 <i>No Hooke Region</i>	23
Gambar 3. 1 Grafik Perbandingan <i>Massa Material</i>	32
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 3. 3 Mesin Uji Tarik	36
Gambar 3. 4 <i>SEM-EDS</i>	36
Gambar 4. 1 Pengukuran Filamen	42
Gambar 4. 2 Perbandingan <i>Swell Ratio</i>	44
Gambar 4. 3 Grafik <i>SNR</i>	47
Gambar 4. 4 Uji <i>SEM</i> pada Filamen H2	50
Gambar 4. 5 Hasil EDS Filamen H2 Daerah 1	51
Gambar 4. 6 Hasil EDS Filamen H2 Daerah 2	52
Gambar 4. 7 Gear Terhenti	53
Gambar 4. 8 <i>Nozzle</i> Tersumbat Filamen dan Degradasi	54
Gambar 4. 9 Spesimen <i>PCL 100% cubic</i>	55
Gambar 4. 10 Spesimen <i>PCL 100% Lines</i>	55
Gambar 4. 11 <i>Nozzle</i> (0.4, 0.6, 1) mm	56
Gambar 4. 12 Hasil Ekstrusi Filamen	56



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>Wellzoom Extruder Machine</i>	65
Lampiran 2 Hasil Uji Tarik Filamen Kode H.....	66
Lampiran 3 Hasil Uji Tarik Filamen Kode H1.....	67
Lampiran 4 Hasil Uji Tarik Filamen Kode H2.....	68
Lampiran 5 Hasil Uji Tarik Filamen Kode G.....	69
Lampiran 6 Hasil Uji Tarik Filamen Kode G1.....	70
Lampiran 7 Hasil Uji Tarik Filamen Kode G2.....	71
Lampiran 8 Dokumentasi Uji Tarik	72
Lampiran 9 Kurva Tegangan Regangan.....	73
Lampiran 10 <i>SEM-EDS</i>	79



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

Industri manufaktur telah mengalami perkembangan, terutama dalam bidang rekayasa *biomedis*, yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas kesehatan melalui inovasi dalam pengobatan [1]. Salah satu inovasinya adalah pengembangan teknologi *3D printing* untuk aplikasi rekayasa jaringan. Teknologi ini digunakan untuk membuat struktur yang dapat meniru karakteristik jaringan dan memungkinkan *customisasi* atau *modifikasi* dalam pembuatan struktur *biologis* manusia [2].

Teknologi *3D print* yang digunakan untuk aplikasi *biomedis* memiliki metode percetakan yang disebut *fused deposition modelling (FDM)*. *FDM* bekerja dengan cara melelehkan *material* dan menumpuk lapis demi lapis pada *bed plate* untuk membentuk objek *3D* yang disebut filamen [3]. Filamen merupakan *material* berbentuk benang (*wire*) yang dibuat dari bahan khusus sesuai dengan kebutuhan [4]. Filamen yang digunakan pada *biomedis*, umumnya dibuat menggunakan *material* yang dapat mendukung fungsi dari jaringan tubuh dan tidak berbahaya bagi tubuh [5]. Salah satu aplikasi pengembangan rekayasa jaringan pada teknologi *3D print* adalah pembuatan *Scaffold bone* [6].

Scaffold bone adalah struktur atau kerangka yang digunakan sebagai pengganti atau penyangga sementara untuk membantu memperbaiki bagian tulang yang mengalami kerusakan [7]. Pada pembuatannya, *scaffold* perlu memiliki beberapa kriteria seperti menggunakan bahan yang aman, tidak beracun bagi tubuh, dapat terurai didalam tubuh, memiliki kekuatan mekanik yang dapat mendukung aktifitas sehari-hari dan memiliki *porositas* (memiliki lubang-lubang kecil) untuk *transfer* nutrisi, darah, *oksigen* dan lain-lain [8]. Sejumlah penelitian terdahulu, telah menggunakan *material polycaprolactone (PCL)*, *magnesium (Mg)* dan *hydroxyapatite (HA)* dalam pembuatan filamen untuk aplikasi *Scaffold bone* [9][10].

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

Pada penelitian yang dilakukan oleh Tao Wang et al. (2024), membahas mengenai pembuatan filamen menggunakan *material PCL-Mg* [11]. Komposisi *magnesium* yang digunakan adalah (0,5,10,15,20)%, dengan hasil yang menunjukkan bahwa *scaffold* dengan kandungan *Mg* 10% menunjukkan *biokompatibilitas* (aman untuk tubuh dan tidak menimbulkan reaksi berbahaya) dan dapat mendukung atau memperbaiki jaringan tubuh dengan lebih efektif. Penelitian lainnya, Weilin Zhang et al. (2021) menggunakan komposisi *PCL-Mg* dengan persentase *magnesium* (0,5,10,15,20)% [12]. Hasil menunjukkan bahwa *magnesium* dapat tersebar merata pada *scaffold*, namun bertambahnya persentase *Mg*, juga meningkatkan korosi.

Chang Geun Kim et al. (2021) pada penelitiannya membahas mengenai filamen dengan *material PCL-HA*, menggunakan persentase *HA* (5,10,15,20,25) % [13]. Hasil menunjukkan bahwa penambahan *HA* yang tinggi membuat kekuatan tarik tinggi, namun *elastisitas* pada *scaffold* mengalami penurunan. Penelitian lainnya yaitu Fengze Wang et al. (2022), menggunakan *material* yang sama yaitu *PCL-HA* dengan persentase *HA* (0,5,10,15,20,25) %, menunjukkan bahwa penambahan *HA* membuat kekuatan tekan dan *modulus elastisitas* meningkat dibanding hanya menggunakan *PCL* murni [14]. Hasil lainnya menunjukkan bahwa filamen dengan 10% *HA* memiliki potensi untuk perbaikan cacat tulang akibat tumor dan trauma.

Filamen yang dibuat dari *material polycaprolactone (PCL)*, *magnesium (Mg)* dan *hydroxyapatite (HA)*, dapat dikembangkan melalui teknologi *3D print* untuk aplikasi medis. *Material* tersebut tidak menimbulkan bahaya bagi tubuh, dapat terurai didalam tubuh dan telah banyak digunakan pada penelitian terdahulu. Meski begitu, terdapat beberapa permasalahan dalam pembuatan filamen *PCL*, *Mg* dan *HA* untuk aplikasi *Scaffold bone*. Masalah pertama adalah masih terbatasnya penelitian mengenai filamen dengan *material PCL*, *Mg*, dan *HA* untuk *Scaffold bone* pada metode *FDM (Fused Deposition Modeling)*. Sehingga

Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

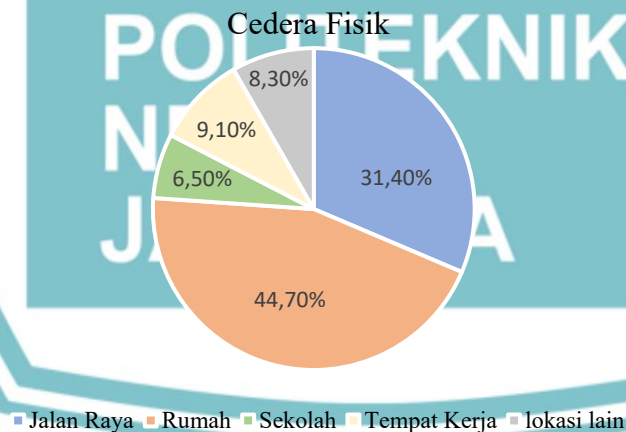
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

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

data dan referensi yang digunakan masih sangat terbatas [13]. Masalah kedua yaitu keseimbangan mekanik, meskipun penambahan *HA* dapat meningkatkan *modulus elastisitas*, kekuatan tarik filamen *PCL-HA* (20,01 MPa) masih berada di batas bawah tulang *cortical* manusia (78–151 MPa) [15]. Penambahan *Mg* juga meningkatkan *modulus elastisitas* akan tetapi, mengurangi *ductilitas* (kemampuan *material* untuk ditarik/dibentuk tanpa patah) yang dapat berisiko menyebabkan *scaffold* retak [16].

Pengembangan *material* filamen untuk *Scaffold bone* menjadi semakin penting, mengingat tingginya kasus fraktur akibat cedera fisik. Menurut data riskesdas di Indonesia, sekitar 67% kasus cedera tulang terjadi pada bagian *ekstremitas* bawah, seperti tulang paha, tulang kering, dan pergelangan kaki. Cedera-cedera ini sering kali membutuhkan penanganan lebih dari sekadar pemasangan *pen* (seperti *screw* menggunakan baja atau *titanium*) atau *gips* (dari kapas atau lapisan lembut lainnya), terutama jika terjadi kerusakan jaringan tulang yang parah. Data Riskesdas (2018) mengenai cedera fisik dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Data Riskesdas Cedera Fisik [17].

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan filamen *PCL-Mg-HA* untuk aplikasi *Scaffold bone* pada *3D print*. Metode Taguchi digunakan untuk menganalisis dan menentukan kombinasi parameter proses seperti komposisi *material* dan suhu *ekstrusi* dalam pembuatan filamen.

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

Pendekatan ini menggunakan *design orthogonal array* untuk mengurangi jumlah percobaan, sehingga lebih hemat waktu dan biaya. Setelah itu, filamen akan dianalisis untuk mengevaluasi sifat fisik, sifat mekanik dan struktur mikro yang dihasilkan melalui pengukuran diameter, uji tarik, dan *SEM-EDS*. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan *material biomedis* untuk penyembuhan permasalahan cedera fisik dan meningkatkan efektivitas penggunaan *3D printing* dalam bidang kedokteran *regeneratif*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana menentukan komposisi filamen *PCL-Mg-HA* menggunakan metode Taguchi?
2. Bagaimana pengaruh faktor (*suhu, magnesium, hydroxyapatite*) terhadap hasil *ekstrusi* filamen?
3. Bagaimana pengaruh faktor (*suhu, magnesium, hydroxyapatite*) pada filamen terhadap hasil uji tarik dan *SEM-EDS*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan pada penelitian ini yaitu:

1. Menentukan komposisi filamen *PCL-Mg-HA* menggunakan metode Taguchi.
2. Mengetahui dan menganalisis pengaruh faktor (*suhu, magnesium, hydroxyapatite*) terhadap hasil *ekstrusi* filamen.
3. Mengetahui dan menganalisis pengaruh faktor (*suhu, magnesium, hydroxyapatite*) terhadap hasil uji tarik dan *SEM-EDS*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan berbagai manfaat baik dari segi akademis maupun praktis. Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu:

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. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian lebih lanjut tentang aplikasi *scaffold polycaprolactone-magnesium-hydroxyapatite* dalam regenerasi tulang.
2. Penelitian dapat dipublikasikan dalam jurnal ilmiah atau dipresentasikan dalam konferensi, yang akan meningkatkan profil peneliti, kampus dan dosen pada bidang ilmu pengetahuan.
3. Hasil penelitian dapat menjadi sumber informasi dan referensi bagi mahasiswa dan peneliti lain yang tertarik dengan bidang rekayasa *material*, rekayasa jaringan, dan *3D printing*.
4. Penelitian ini dapat memberikan wawasan baru yang dapat diintegrasikan ke dalam kurikulum pendidikan di bidang teknik *material*, *biomedis*, dan terkait lainnya.
5. Penelitian ini dapat membuka peluang kolaborasi antara peneliti dari berbagai disiplin ilmu, seperti teknik *material*, biologi, dan kedokteran.

1.5 Batasan Masalah

Ruang lingkup pada penelitian ini dibatasi supaya penelitian ini lebih fokus dan terarah, oleh karena itu Batasan masalah yang ditetapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya menggunakan *polycaprolactone-magnesium-hydroxyapatite* sebagai *material* dalam proses fabrikasi filamen.
2. Pembuatan filamen terbatas pada metode *ekstrusi leleh (melt ekstrusion)*, tanpa melibatkan proses lainnya.
3. Penelitian ini hanya berfokus pada karakteristik filamen sebagai bahan dasar pembuatan *scaffold*, tanpa melakukan proses cetak *scaffold 3D*.
4. Hasil cetak spesimen yang dibahas pada penelitian ini hanya berasal dari filamen *PCL* murni dan *PCL-HA* (3%) yang tidak direncanakan sebagai fokus utama, sehingga hanya dijadikan data pendukung.
5. Tidak melakukan simulasi biologis, ataupun uji yang berkaitan dengan penyembuhan jaringan tulang

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

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan adalah kerangka atau struktur yang digunakan untuk menyusun karya ilmiah secara terorganisir dan *logis*. Pada penelitian ini sistematika terdiri dari beberapa bab yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penulisan, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan batasan masalah.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi mengenai studi literatur yang relevan dengan penelitian ini, yang meliputi teori dasar mengenai tulang *cortical*, *Scaffold bone*, teknologi *3D print*, metode yang digunakan, jenis pengujian yang dilakukan dan pembahasan hasil penelitian terdahulu.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang diagram alir penelitian, jenis penelitian, objek penelitian dan pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil dan pembahasan dari penelitian yang sudah dilakukan yang terdiri dari proses *ekstrusi* filamen, pengukuran diameter, *tensile test*, dan *SEM-EDS*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memaparkan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, serta saran yang dapat dilakukan sebagai implementasi dari hasil penelitian.

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 V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai proses fabrikasi filamen *PCL-Mg-HA*, maka diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Penentuan komposisi filamen *PCL-Mg-HA* menggunakan metode Taguchi dibagi dalam beberapa langkah:
 - a) Mendefinisikan factor (suhu, *magnesium*, *hydroxyapatite*) dan level yang diteliti.
 - b) Melakukan perhitungan derajat kebebasan untuk menentukan jumlah *orthogonal array* yang dibutuhkan.
 - c) Pemilihan *orthogonal array* yang harus disesuaikan dengan perhitungan derajat kebebasan yang sudah dihitung. Pemilihan *OA* harus sama atau melebihi nilai derajat kebebasan
 - d) Hasil pengujian tarik dianalisis menggunakan *signal to noise ratio (SNR)* dengan pendekatan *larger is better*.
2. Faktor (suhu, *Mg*, *HA*) sangat mempengaruhi hasil pembuatan filamen, beberapa hasil yang didapatkan yaitu:
 - a) Pengukuran diameter yang tidak stabil dan cenderung memiliki nilai dibawah standar yaitu $\varnothing 1,75$ mm pada setiap kombinasi.
 - b) Nilai *swell ratio* lebih rendah dari 1, artinya diameter semakin mengecil setelah keluar dari *nozzle*.
 - c) Beberapa penyebabnya perbedaan bentuk *material* sebelum di *ekstrusi*, teknik pencampuran *material* yang masih manual dan proses pendinginan filamen yang terlalu lama.
 - d) Akibatnya filamen menjadi tidak *homogen* (tidak tersebar merata di dalam filamen) yang membuat diameter menjadi *fluktuatif*. Sehingga saat diaplikasikan di *3D print* dapat menyebabkan hasil cetak tidak konsisten dan menyebabkan penyumbatan pada *nozzle*.
3. Beberapa pengaruh factor yang didapatkan pada penelitian ini, yaitu:
 - a) Pengaruh *Magnesium*

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

Pada kode H (Suhu 75°C, Mg 5% dan HA 3%) memiliki nilai uji tarik yang tinggi dan stabil. Sementara itu, tabel respon *SNR* menunjukkan bahwa persentase *magnesium* sangat mempengaruhi nilai uji tarik dengan level 2 (5%) ada di urutan tertinggi grafik, ini dapat disebabkan karena *magnesium* yang digunakan tidak sepenuhnya berbentuk bubuk seperti *hydroxyapatite*, sehingga ketika kombinasinya tidak tepat maka akan sangat mempengaruhi.

b) Pengaruh suhu

Suhu berada di peringkat kedua pada tabel respon *SNR*, dengan level 1 (65°C) berada di urutan tertinggi grafik, namun menurun drastis ketika di level 3 (75°C). Artinya suhu rendah lebih efektif dalam menjaga kekuatan tarik filamen sehingga ketika suhu ditingkatkan nilai kekuatan tarik justru menjadi turun.

c) Pengaruh *hydroxyapatite*

Rasio *hydroxyapatite* memiliki pengaruh paling kecil, dengan level 1 (3%) berada di urutan tertinggi grafik, namun saat ditingkatkan ke 5%, kekuatannya malah menurun. Ketika ditingkatkan lagi menjadi 10%, kekuatannya justru kembali meningkat. Pola ini menunjukkan bahwa pengaruh *HA* tidak konsisten dan bergantung pada kombinasi dengan faktor lainnya.

d) *Modulus Elastisitas*

Modulus elastisitas meningkat seiring dengan penambahan penguat (Mg-HA). Hal ini menunjukkan bahwa penguat berperan dalam meningkatkan nilai kekakuan, namun penambahan penguat yang terlalu banyak membuat ikatan *PCL* lemah. Sehingga sebagian penguat tidak bisa terdistribusi secara merata dalam matriks *PCL* dan menyebabkan partikel menggumpal, menempel satu sama lain dan berdampak pada inkonsistensi sifat fisik dan mekanik filamen. selain itu, terdapat variasi *modulus elastisitas* yang signifikan untuk kombinasi yang sama. Hal ini mengindikasikan terjadinya ketidakhomogenan distribusi Mg dan HA dalam matriks *PCL*, yang

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

dapat disebabkan oleh pencampuran yang masih manual dan proses ekstrusi yang kurang optimal.

e) *SEM-EDS*

Hasil *SEM-EDS* pada filamen H2 menunjukkan bahwa morfologi permukaan filamen sangat dipengaruhi oleh distribusi partikel dalam matriks *PCL*. Terlihat pada perbesaran 150x, permukaan filamen memiliki tonjolan dan alur yang menandakan bahwa penguat tidak sepenuhnya terikat pada matriks *PCL*. Sementara itu, perbesaran 2000x terlihat bahwa terdapat lapisan bertingkat dan tekstur yang kasar. Hal ini mengindikasikan terdapat gumpalan *Mg* dan *HA* yang berpotensi membuat *nozzle* tersumbat dan hasil cetak tidak merata. Sementara itu, *void* pada filamen ini hampir tidak terlihat, sehingga filamen ini dapat memiliki nilai uji tarik yang kuat.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran yang dapat dilanjutkan pada penelitian di masa mendatang, seperti:

1. Optimasi parameter *ekstrusi* perlu dirancang ulang (khususnya suhu) agar ketika proses *ekstrusi*, filamen tidak mengalami perubahan diameter yang signifikan.
2. Teknik pencampuran yang dilakukan sebelum proses *ekstrusi* dapat diubah agar filamen yang dihasilkan bisa homogen. *Material PCL-Mg-HA* dapat dibuat menjadi *pellet* terlebih dahulu, setelah itu dapat di *ekstrusi* pada mesin *Wellzoom*.
3. Pembuatan spesimen pada *3D print* yang dapat mencetak pada suhu dari range 100 - 240°C, untuk mengatasi penyumbatan pada *nozzle*. Pembuatan spesimen dilakukan pada setiap kombinasi filamen dan pengujian. Pembuatan struktur *scaffold* menggunakan filamen yang telah dibuat.

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

4. *Infill pattern* yang direkomendasikan menggunakan *lines*, supaya *nozzle* dapat mengeluarkan filamen secara terus menerus dan meminimalisir penyumbatan.



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 PUSTAKA

- [1] P. R. Intan and Khariri, "Pemanfaatan Hewan Laboratorium Yang Sesuai untuk Pengujian Obat dan Vaksin," *Pros. Semin. Nas. Biol. di Era Pandemi COVID-19*, vol. 6, no. 1, pp. 48–53, 2020.
- [2] C. Wang *et al.*, "3D printing of bone tissue engineering scaffolds," *Bioact. Mater.*, vol. 5, no. 1, pp. 82–91, 2020, doi: 10.1016/j.bioactmat.2020.01.004.
- [3] P. Zhang, Z. Wang, J. Li, X. Li, and L. Cheng, "From materials to devices using fused deposition modeling: A state-of-art review," *Nanotechnol. Rev.*, vol. 9, no. 1, pp. 1594–1609, 2020, doi: 10.1515/ntrev-2020-0101.
- [4] M. N. Ahmad, M. R. Ishak, M. Mohammad Taha, F. Mustapha, and Z. Leman, "A Review of Natural Fiber-Based Filaments for 3D Printing: Filament Fabrication and Characterization," *Materials (Basel)*, vol. 16, no. 11, 2023, doi: 10.3390/ma16114052.
- [5] D. Oktavian, B. Arifvianto, and M. Mahardika, "Ekstruksi Dan Karakterisasi Filamen Komposit Polylactid Acid (Pla) / Carbon Nano Tube (Cnt)," *J. Mater. Teknol. Proses War. Kemajuan Bid. Mater. Tek. Teknol. Proses*, vol. 2, no. 2, p. 12, 2021, doi: 10.22146/jmtp.70481.
- [6] M. Navarro and J. A. Planell, "Composite Scaffolds for Bone Tissue Regeneration," *Wiley Encycl. Compos.*, pp. 1–14, 2012, doi: 10.1002/9781118097298.weoc050.
- [7] T. Ghassemi, A. Shahroodi, M. H. Ebrahimzadeh, A. Mousavian, J. Movaffagh, and A. Moradi, "Current concepts in scaffolding for bone tissue engineering," *Arch. Bone Jt. Surg.*, vol. 6, no. 2, pp. 90–99, 2018, doi: 10.22038/abjs.2018.26340.1713.
- [8] R. S. Valtanen, Y. P. Yang, G. C. Gurtner, W. J. Maloney, and D. W. Lowenberg, "Synthetic and Bone tissue engineering graft substitutes: What is the future?," *Injury*, vol. 52, no. xxxx, pp. S72–S77, 2021, doi: 10.1016/j.injury.2020.07.040.
- [9] S. Nuthana Kalva *et al.*, "Effect of Mg incorporation on the properties of PCL/Mg composites for potential tissue engineering applications," *Front. Mater.*, vol. 11, no. April, pp. 1–13, 2024, doi: 10.3389/fmats.2024.1294811.
- [10] M. Petousis *et al.*, "Biomedical Composites of Polycaprolactone/Hydroxyapatite for Bioplotting: Comprehensive Interpretation of the Reinforcement Course," *Polymers (Basel)*, vol. 16, no. 17, 2024, doi: 10.3390/polym16172400.
- [11] T. Wang *et al.*, "3D-printed Mg-incorporated PCL-based scaffolds improves rotator cuff tendon-bone healing through regulating macrophage polarization," *Front. Bioeng. Biotechnol.*, vol. 12, no. July, pp. 1–12, 2024, doi: 10.3389/fbioe.2024.1407512.
- [12] W. Zhang *et al.*, "3D-printing magnesium–polycaprolactone loaded with melatonin inhibits the development of osteosarcoma by regulating cell-in-cell structures," *J. Nanobiotechnology*, vol. 19, no. 1, pp. 1–21, 2021, doi: 10.1186/s12951-021-01012-1.
- [13] C. G. Kim, K. S. Han, S. Lee, M. C. Kim, S. Y. Kim, and J. Nah, "Fabrication of biocompatible polycaprolactone–hydroxyapatite composite filaments for the FDM 3D printing of bone scaffolds," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 14, 2021, doi: 10.3390/app11146351.
- [14] F. Wang *et al.*, "Fabrication and Characterization of PCL/HA Filament as a 3D Printing Material Using Thermal Extrusion Technology for Bone Tissue Engineering," *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 4, 2022, doi: 10.3390/polym14040669.

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

- [15] G. A. Ramadanu, R. Ismail, and A. Prihartoyo Bayuseno, "Pengaruh Rpm Pada Proses Pembuatan Filamen Biokomposit Berbahan Pcl, Pla, Dan Hidroksiapatit Dari Cangkang Rajungan Terhadap Sifat Mekanik Dan Karakterisasi Filamen," *J. Tek. Mesin S-I*, vol. 11, no. 2, pp. 1–6, 2023.
- [16] R. U. Putra *et al.*, "Level of Activity Changes Increases the Fatigue Life of the Porous Magnesium Scaffold, as Observed in Dynamic Immersion Tests, over Time," *Sustain.*, vol. 15, no. 1, 2023, doi: 10.3390/su15010823.
- [17] T. H. Kinder, N. A. Mappaware, and A. Aman, "Laporan Kasus : Analisis Kasus Abses Bartholini Dalam Perspektif Medis , Bioetik Dan Islam," vol. 7, pp. 16626–16632, 2023.
- [18] K. Pendidikan, D. Spesialis, B. Ilmu, O. Dan, P. Pascasarjana, and U. Hasanuddin, "LENGKUNG ANTERIOR DIAFISIS FEMUR PADA ORANG INDONESIA ANTERIOR FEMORAL BOWING IN INDONESIAN INDONESIA ANTERIOR FEMORAL BOWING IN INDONESIAN," 2013.
- [19] N. M. B. K. Willems, G. E. J. Langenbach, V. Everts, and A. Zentner, "The microstructural and biomechanical development of the condylar bone: A review," *Eur. J. Orthod.*, vol. 36, no. 4, pp. 479–485, 2014, doi: 10.1093/ejo/cjt093.
- [20] K. G. . S. A. . H. G. D. . B. R. Waruwu, "Analisis Pengaruh Larutan Infus Saline Water Dan Ringer Lactate Terhadap Laju Korosi Paduan Titanium Ti-6Al-4V Yang Digunakan Untuk Implan Tulang," *J. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 4, pp. 179–186, 2023.
- [21] E. A. Todd *et al.*, "Functional Scaffolds for Bone Tissue Regeneration: A Comprehensive Review of Materials, Methods, and Future Directions," *J. Funct. Biomater.*, vol. 15, no. 10, 2024, doi: 10.3390/jfb15100280.
- [22] M. N. Collins, G. Ren, K. Young, S. Pina, R. L. Reis, and J. M. Oliveira, "Scaffold Fabrication Technologies and Structure/Function Properties in Bone Tissue Engineering," *Adv. Funct. Mater.*, vol. 31, no. 21, 2021, doi: 10.1002/adfm.202010609.
- [23] I. Sahafnejad-Mohammadi, S. Rahmati, N. Najmoddin, and M. Bodaghi, "Biomimetic Polycaprolactone-Graphene Oxide Composites for 3D Printing Bone Scaffolds," *Macromol. Mater. Eng.*, vol. 308, no. 5, pp. 1–16, 2023, doi: 10.1002/mame.202200558.
- [24] M. A. Woodruff and D. W. Hutmacher, "The return of a forgotten polymer - Polycaprolactone in the 21st century," *Prog. Polym. Sci.*, vol. 35, no. 10, pp. 1217–1256, 2010, doi: 10.1016/j.progpolymsci.2010.04.002.
- [25] M. S. Dr. Aminatun, "Scaffold Berbasis Policaprolacton-Hidroksiapatit untuk Rekayasa Jaringan Tulang," unair.ac.id. [Online]. Available: <https://unair.ac.id/scaffold-berbasis-policaprolacton-hidroksiapatit-untuk-rekayasa-jaringan-tulang/>
- [26] X. Yang, Y. Wang, Y. Zhou, J. Chen, and Q. Wan, "The application of polycaprolactone in three-dimensional printing scaffolds for bone tissue engineering," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 16, 2021, doi: 10.3390/polym13162754.
- [27] M. Hasan, I. M. Arcana, Sulastri, Rusman, and L. Hanum, "Plastik Ramah Lingkungan dari Polikaprolakton dan Pati Tapioka dengan Penambahan *Refined Bleached and Deodorized Palm Oil* (RBDPO) sebagai Pemlastis Alami," *Purifikasi*, vol. 8, no. 2, pp. 133–138, 2007.
- [28] 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, 2022, doi: 10.3390/jfb13040261.

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

- [29] M. P. Staiger, A. M. Pietak, J. Huadmai, and G. Dias, "Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review," *Biomaterials*, vol. 27, no. 9, pp. 1728–1734, 2006, doi: 10.1016/j.biomaterials.2005.10.003.
- [30] A. Abdal-hay, N. T. Raveendran, B. Fournier, and S. Ivanovski, "Fabrication of biocompatible and bioabsorbable polycaprolactone/ magnesium hydroxide 3D printed scaffolds: Degradation and in vitro osteoblasts interactions," *Compos. Part B Eng.*, vol. 197, no. January, 2020, doi: 10.1016/j.compositesb.2020.108158.
- [31] Atirah, "Produksi dan Karakterisasi Hidroksiapatit (Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂) Tulang Broiler pada Suhu Pembakaran Berbeda," *Univ. Hasanudin*, vol. 10, 2017.
- [32] J. Venkatesan, R. V. Anchan, S. S. Murugan, S. Anil, and S. K. Kim, "Natural hydroxyapatite-based nanobiocomposites and their biomaterials-to-cell interaction for bone tissue engineering," *Discov. Nano*, vol. 19, no. 1, 2024, doi: 10.1186/s11671-024-04119-0.
- [33] L. Witek, Y. Shi, and J. Smay, "Controlling calcium and phosphate ion release of 3D printed bioactive ceramic scaffolds: An in vitro study," *J. Adv. Ceram.*, vol. 6, no. 2, pp. 157–164, 2017, doi: 10.1007/s40145-017-0228-2.
- [34] S. Kumar, R. Sooraj, and M. V. Vinod Kumar, "Design and Fabrication of Extrusion Machine for Recycling Plastics," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1065, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1065/1/012014.
- [35] F. Technology, "Introduction to 3D," no. August, pp. 0–10, 2023, doi: 10.13140/RG.2.2.36091.18729.
- [36] A. El Moumen, "Modelling of the temperature and residual stress fields during 3Dprinting of polymer composites," 2019, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/333719097_Modelling_of_the_temperature_and_residual_stress_fields_during_3D_printing_of_polymer_composites
- [37] C. Ma, "CAD-CAM workflow for the fabrication of Bioscaffolds and Porous Auricular Constructs with Polycaprolactone using Ultimaker 2 +," 2021.
- [38] R. B. Kristiawan, F. Imaduddin, D. Ariawan, Ubaidillah, and Z. Arifin, "A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters," *Open Eng.*, vol. 11, no. 1, pp. 639–649, 2021, doi: 10.1515/eng-2021-0063.
- [39] S. Eshraghi, "Mechanical and Microstructural Properties of Polycaprolactone Scaffolds with 1-D, 2-D, and 3-D Orthogonally Oriented Porous Architectures Produced by Selective Laser Sintering," *Br. J. Psychiatry*, vol. 199, no. SEPT., pp. 380–381, 2010, doi: 10.1192/bjp.199.3.380b.
- [40] J. Kubásek, D. Vojtěch, J. Maixner, and D. Dvorský, "The effect of hydroxyapatite reinforcement and preparation methods on the structure and mechanical properties of Mg-HA composites," *Sci. Eng. Compos. Mater.*, vol. 24, no. 2, pp. 297–307, 2017, doi: 10.1515/secm-2015-0006.
- [41] G. Auberta *et al.*, "Analysis of The Testing Sequence for A 3,000 Watt Electric Motorcycle Using The Taguchi Method," vol. 01, no. 04, 2023, [Online]. Available: <https://www.mbi-journals.com/index.php/riestech/index>
- [42] J. Sistem and D. Teknik, "E-ISSN : 2621-8933 JUSTI (Jurnal Sistem Dan Teknik Industri)," vol. 1, p. 306, 2011, [Online]. Available: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fjournal.umg.ac.id%2Findex.php%2Fjusti%2Farticle%2Fdownload%2F2610%2F1608%2F&psig=AOvVaw2XwNZiLVxYBDFpRVD4GaVJ&ust=1718818924717000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAYQrpoMahcKEwiAoLzM2eWGAXUAAAAAHQA>
- [43] S. De Rosa, D. Tammara, and G. D'Avino, "Experimental and Numerical

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

- Investigation of the Die Swell in 3D Printing Processes,” *Micromachines*, vol. 14, no. 2, 2023, doi: 10.3390/mi14020329.
- [44] C. A. Siagian, D. Wicaksono, and F. Setiawan, “Analisis Uji Tarik Dan Uji Bending Dengan Karakteristik Honeycomb Polylactic Acid (Pla) Terhadap Variasi Suhu Ruangan,” *Tek. STTKD J. Tek. Elektron. Engine*, vol. 9, no. 2, pp. 256–261, 2023, doi: 10.56521/teknika.v9i2.940.
- [45] H. Umg and U. M. Gresik, “Uji Tarik By : Hidayat S . T ., M . Eng,” no. June, 2020.
- [46] American Society for Testing and Materials D638, “ASTM D638-14, Standard practice for preparation of metallographic specimens,” *ASTM Int.*, vol. 82, no. C, pp. 1–15, 2016, doi: 10.1520/D0638-14.1.
- [47] A. Mohammed and A. Abdullah, “Scanning Electron Microscopy (SEM): A review,” *Proc. 2018 Int. Conf. Hydraul. Pneum. - HERVEX*, pp. 77–85, 2018.
- [48] V. D. Hodoroaba, *Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS)*, no. X. Elsevier Inc., 2019. doi: 10.1016/B978-0-12-814182-3.00021-3.
- [49] Ana Mufidah, Novi Puspitasari, Khanifatul Khusna, and Imam Suroso, “Pendampingan Pembelajaran Metode Penelitian Gabungan (Mixed Method) di IAIS Lumajang,” *J. Pengabd. Masy. Akad.*, vol. 3, no. 1, pp. 53–69, 2024, doi: 10.54099/jpma.v3i1.871.
- [50] Q. Dong *et al.*, “Corrigendum to ‘3D-printed Mg-incorporated PCL-based scaffolds: A promising approach for bone healing’ [Mater. Sci. Eng. C 129 (2021) 112372] (Materials Science & Engineering C (2021) 129, (S0928493121005129), (10.1016/j.msec.2021.112372)),” *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 130, no. August, 2021, doi: 10.1016/j.msec.2021.112443.
- [51] Andika Rizki, “ANALISIS PENGEMBANGAN PRODUK FILAMEN 3D PRINTING MENGGUNAKAN MATERIAL KOMPOSIT POLYPROPYLENE, ABS, DAN GLASS FIBER,” 2024.
- [52] M. N. F. Saniman, M. H. M. Hashim, K. A. Mohammad, K. A. A. Wahid, W. M. W. Muhamad, and N. H. N. Mohamed, “Tensile characteristics of low density infill patterns for mass reduction of 3D printed polylactic parts,” *Int. J. Automot. Mech. Eng.*, vol. 17, no. 2, pp. 7927–7934, 2020, doi: 10.15282/ijame.17.2.2020.11.0592.
- [53] T. Sciences, “Thermal Properties of Polycaprolactone (PCL) Reinforced Montmorillonite (MMT) and Hydroxyapatite (HA) as an Alternate of FDM Composite Filament,” vol. 1, no. 1, pp. 112–121, 2019.
- [54] N. Rezanía, M. Asadi-Eydivand, N. Abolfathi, S. Bonakdar, M. Mehrjoo, and M. Solati-Hashjin, “Three-dimensional printing of polycaprolactone/hydroxyapatite bone tissue engineering scaffolds mechanical properties and biological behavior,” *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, vol. 33, no. 3, 2022, doi: 10.1007/s10856-022-06653-8.

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

Lampiran 1 Wellzoom Extruder machine

Alat Penelitian



Mesin Extruder



3D Print

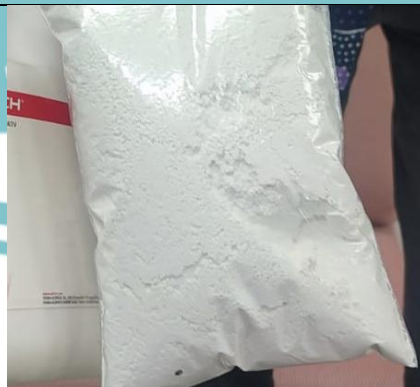
Material Penelitian



Polycaprolactone



Magnesium



Hydroxyapatite

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 2 Hasil Uji Tarik Filamen Kode H



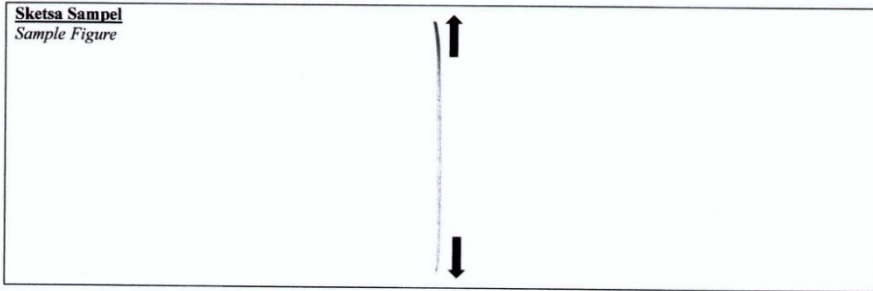
**PT PANCARAN
TEKNOLOGI
INVESTINDO**
Metal Testing & Inspection
ISO 9001:2015

LAPORAN PENGUJIAN TARIK
TENSILE TEST REPORT

Hal 4 dari 28

Nomor Laporan	M-009/R-PTI/2025	Tanggal Terima	4 Juni 2025
Report Number		Receiving Date	
Nomor Kontrak	029/UJIPTI/2025	Tanggal Uji	5 Juni 2025
Contract Number		Date of Test	
Pemakai Jasa	Dedy Hendra Jati	Standar	ASTM D638
Customer		Standard	
Alamat	Politeknik Negeri Jakarta. Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kukusan, Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16425	Metode Uji	Tarik
Address		Testing method	
Bahan	Polimer	Mesin Uji	Gotech LA100 Servo Control Computer System Universal Tensile Machine*
Material		Testing machine	

Sketsa Sampel
Sample Figure



Kode Code	Dimensi Ukur Size Dimension (mm)	Luas Area (mm ²)	Panjang Ukur Gauge length (mm)	Kuat Tarik Tensile Stress (Kg/mm ²) [MPa]	Batas Luluh Yield Stress (Kg/mm ²) [MPa]	Regangan Elongation %	Keterangan Remarks
D1	Ø 1.66	2.16	100.00	1.07 [10.49]**	0.67 [6.57]**	11	-
D2	Ø 1.57	1.94	100.00	1.17 [11.47]**	0.87 [8.53]**	11	-

Catatan :

* ketidakpastian pengukuran di estimasi dengan tingkat kepercayaan 95%

dengan faktor cakupan K=2

** dikali dengan 9.81

Bogor, 9 Juni 2025
Kepala Divisi Pengujian Material

(*Has Nurnichwah*)

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di PT Pancaran Teknologi Investindo; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari PT Pancaran Teknologi Investindo.

Head Office:

Technology Business Incubation Center (TBIC) PUSPIPEK.
R. B2 Lt.1. Pengasinan, Gunung Sindur, Bogor, Jawa Barat 16340.
(021) 7560 223

☎ +62 812 2195 3574
✉ pancatekindo@gmail.com
🌐 http://www.pancatekindo.com

Hak Cipta :

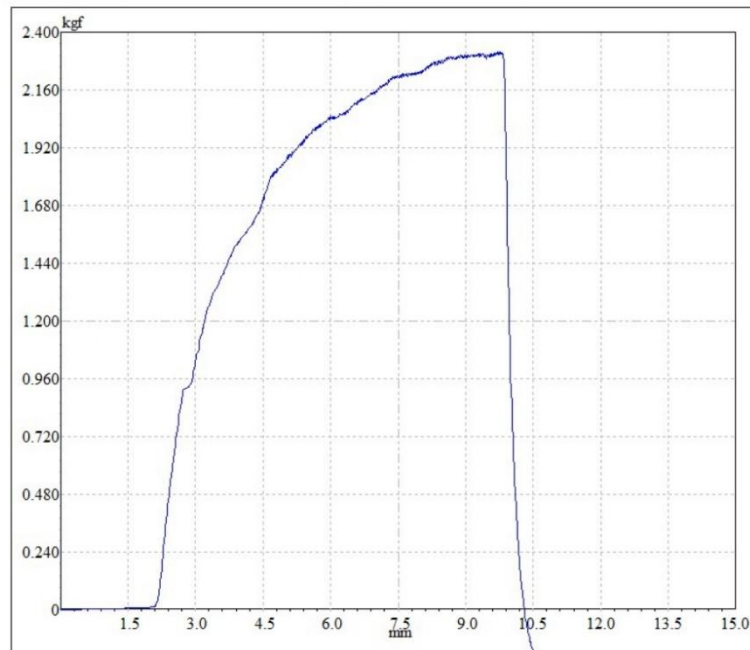
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan 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 Hasil Uji Tarik Filamen Kode H1



LAPORAN PENGUJIAN TARIK
TENSILE TEST REPORT

Hal 16 dari 28



Gambar Grafik Uji. D1

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di PT Pancaran Teknologi Investindo; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari PT Pancaran Teknologi Investindo.

Head Office:
Technology Business Incubation Center (TBIC) PUSPIPEK.
R. B2 Lt.1. Pengasinan, Gunung Sindur, Bogor, Jawa Barat 16340.
(021) 7560 223

+62 812 2195 3574
pancatekindo@gmail.com
<http://www.pancatekindo.com>

Hak Cipta :

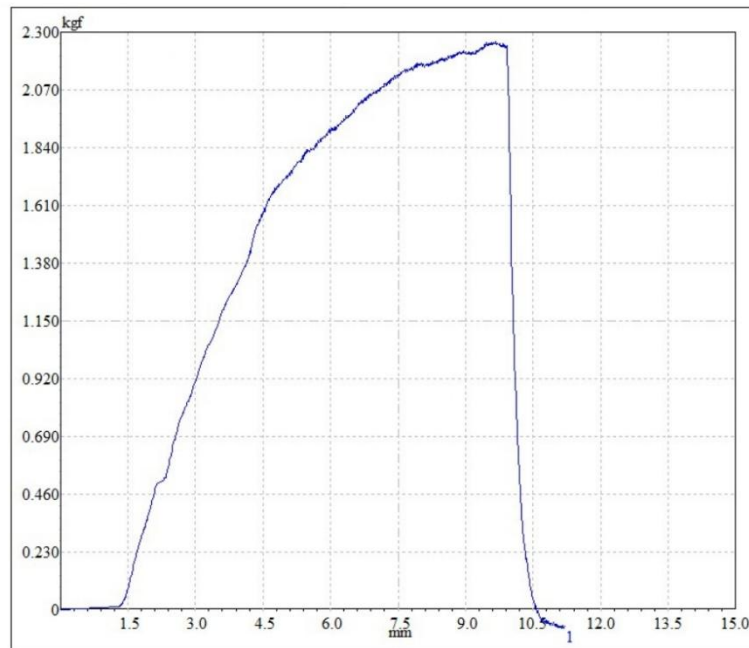
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan 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 4 Hasil Uji Tarik Filamen Kode H2



LAPORAN PENGUJIAN TARIK
TENSILE TEST REPORT

Hal 17 dari 28



Gambar Grafik Uji. D2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di PT Pancaran Teknologi Investindo, publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari PT Pancaran Teknologi Investindo.

Head Office:
Technology Business Incubation Center (TBIC) PUSPIPEK,
R. B2 Lt.1. Pengasinan, Gunung Sindur, Bogor, Jawa Barat 16340.
☎ (021) 7560 223

☎ +62 812 2195 3574
✉ pancatekindo@gmail.com
🌐 <http://www.pancatekindo.com>



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 Hasil Uji Tarik Filamen Kode G



LAPORAN PENGUJIAN TARIK TENSILE TEST REPORT

Hal 7 dari 28

Nomor Laporan	M-009/R-PTI/2025	Tanggal Terima	4 Juni 2025
Report Number		Receiving Date	
Nomor Kontrak	029/UJIPTI/2025	Tanggal Uji	5 Juni 2025
Contract Number		Date of Test	
Pemakai Jasa	Dedy Hendra Jati	Standar	ASTM D638
Customer		Standard	
Alamat	Politeknik Negeri Jakarta. Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kukusan, Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16425	Metode Uji	
Address		Testing method	Tarik
Bahan	Polimer	Mesin Uji	Gotech LA100 Servo Control Computer System Universal Tensile Machine*
Material		Testing machine	

Sketsa Sampel
Sample Figure



Kode Code	Dimensi Ukur Size Dimension (mm)	Luas Area (mm ²)	Panjang Ukur Gauge length (mm)	Kuat Tarik Tensile Stress (Kg/mm ²) [MPa]	Batas Luluh Yield Stress (Kg/mm ²) [MPa]	Regangan Elongation %	Keterangan Remarks
G1	Ø 1.66	2.16	100.00	0.80 [7.84]**	0.51 [5.00]**	28	-
G2	Ø 1.66	2.16	100.00	0.42 [4.12]**	0.38 [3.72]**	5	-

Catatan :

* ketidakpastian pengukuran di estimasi dengan tingkat kepercayaan 95%
dengan faktor cakupan K=2

** dikali dengan 9.81

Bogor, 9 Juni 2025
Kepala Divisi Pengujian Material
(Ina Nurnichwah)

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di PT Pancaran Teknologi Investindo; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari PT Pancaran Teknologi Investindo.

Head Office:
Technology Business Incubation Center (TBIC) PUSPIPTEK.
R. B2 Lt.1. Pengasinan, Gunung Sindur, Bogor, Jawa Barat 16340.
(021) 7560 223

+62 812 2195 3574
pancatekindo@gmail.com
http://www.pancatekindo.com

Hak Cipta :

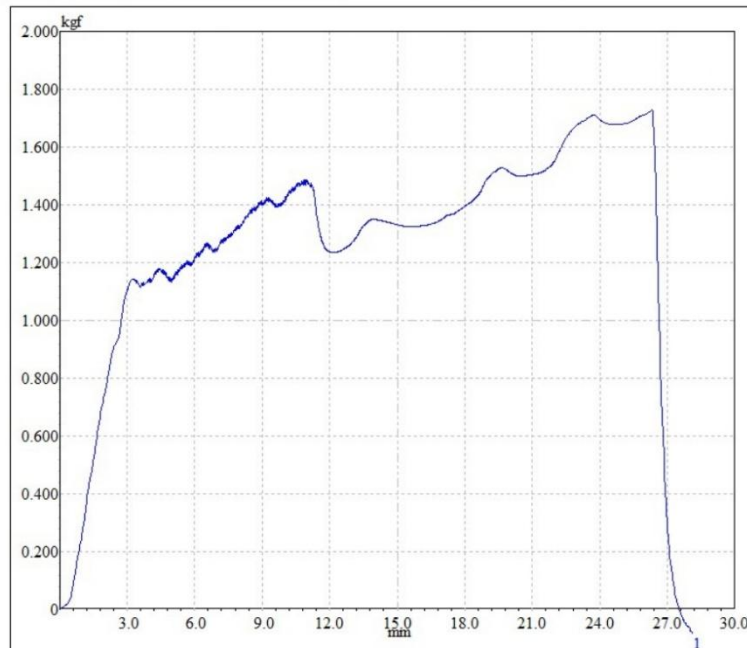
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan 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 6 Hasil Uji Tarik Filamen Kode G1



LAPORAN PENGUJIAN TARIK
TENSILE TEST REPORT

Hal 22 dari 28



Gambar Grafik Uji. G1

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di PT Pancaran Teknologi Investindo; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari PT Pancaran Teknologi Investindo.

Head Office:
Technology Business Incubation Center (TBIC) PUSPIITEK.
R. B2 Lt.1. Pengasinan, Gunung Sindur, Bogor, Jawa Barat 16340.
☎ (021) 7560 223

☎ +62 812 2195 3574
✉ pancatekindo@gmail.com
🌐 <http://www.pancatekindo.com>

Hak Cipta :

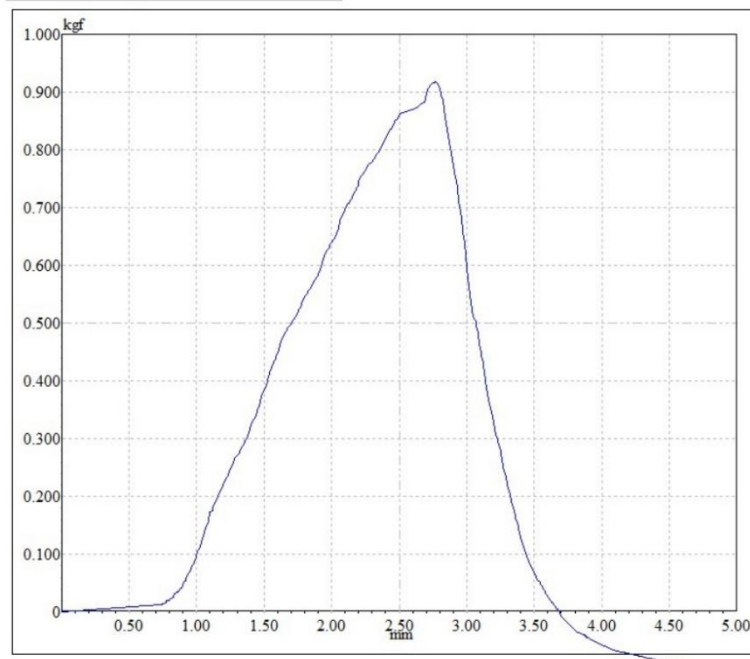
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan 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 Hasil Uji Tarik Filamen Kode G2



LAPORAN PENGUJIAN TARIK
TENSILE TEST REPORT

Hal 23 dari 28



Gambar Grafik Uji. G2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di PT Pancaran Teknologi Investindo, publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari PT Pancaran Teknologi Investindo.

Head Office:
Technology Business Incubation Center (TBIC) PUSPIPEK,
R. B2 Lt.1. Pengasinan, Gunung Sindur, Bogor, Jawa Barat 16340.
☎ (021) 7560 223

☎ +62 812 2195 3574
✉ pancatekindo@gmail.com
🌐 <http://www.pancatekindo.com>

Hak Cipta :

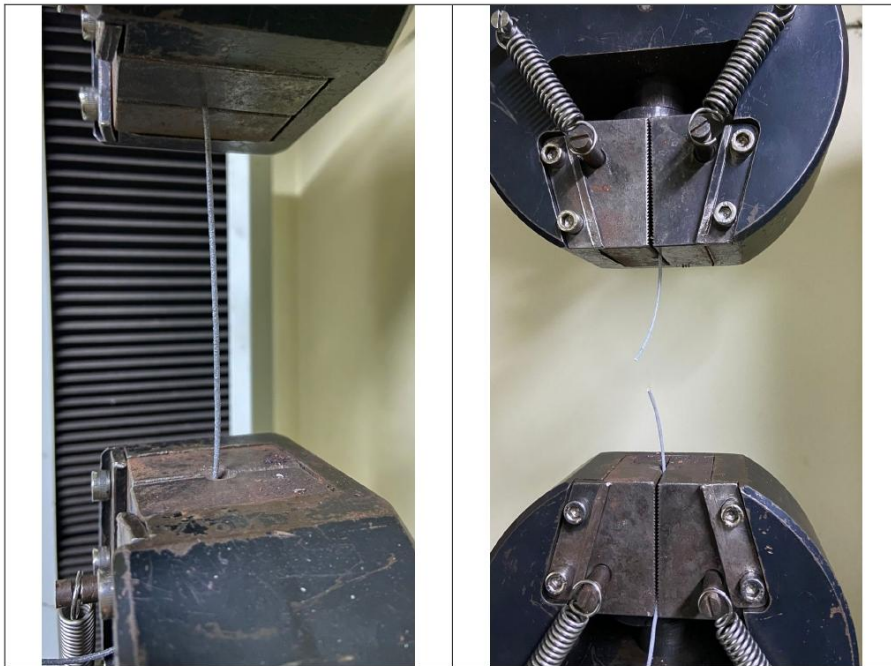
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan 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 8 Dokumentasi Uji Tarik



LAPORAN PENGUJIAN TARIK
TENSILE TEST REPORT

Hal 28 dari 28



Dokumentasi Uji

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di PT Pancaran Teknologi Investindo; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari PT Pancaran Teknologi Investindo.

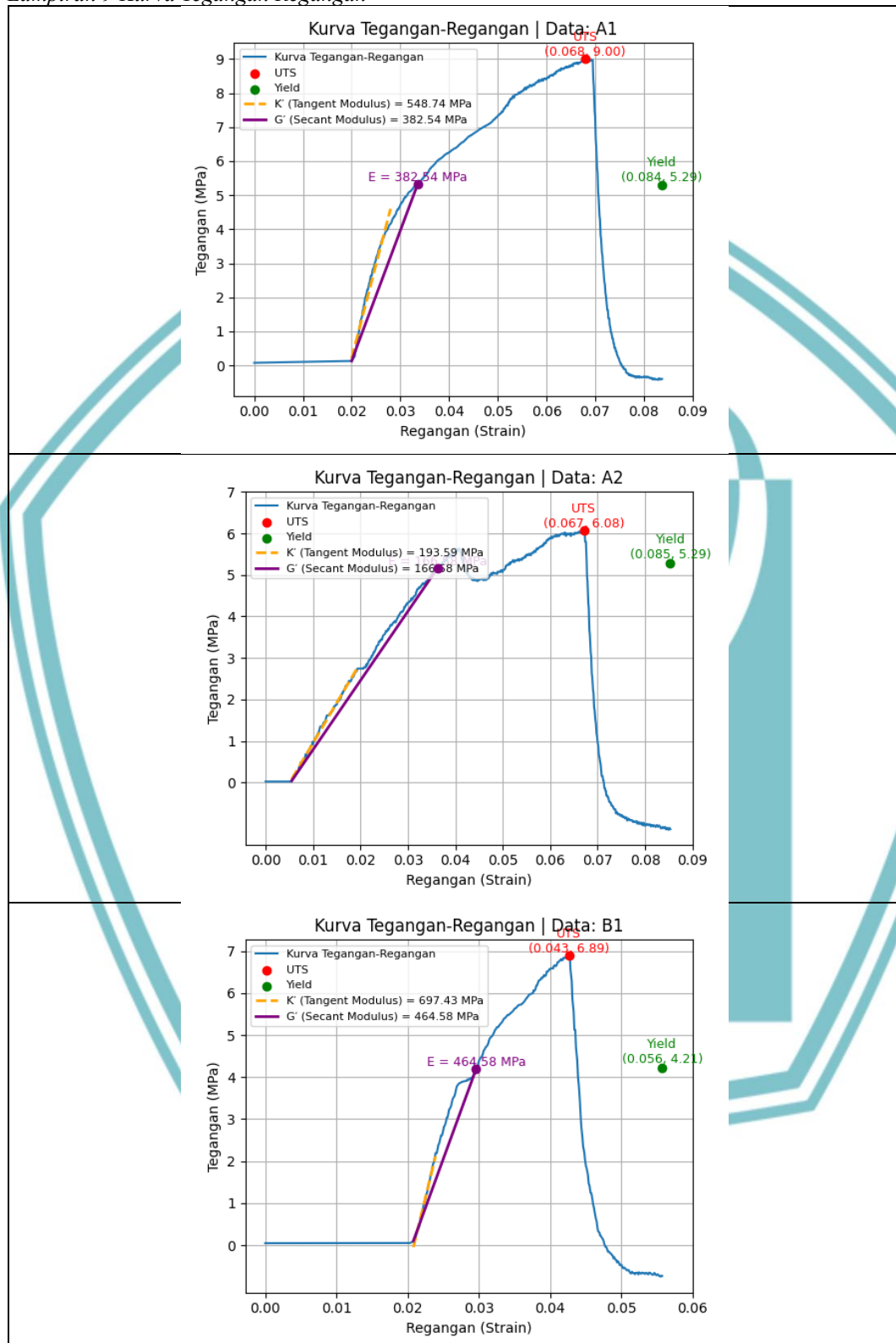
Head Office:
Technology Business Incubation Center (TBIC) PUSPIPEK.
R. B2 Lt.1. Pengasinan, Gunung Sindur, Bogor, Jawa Barat 16340.
(021) 7560 223

+62 812 2195 3574
pancatekindo@gmail.com
<http://www.pancatekindo.com>

Hak Cipta :

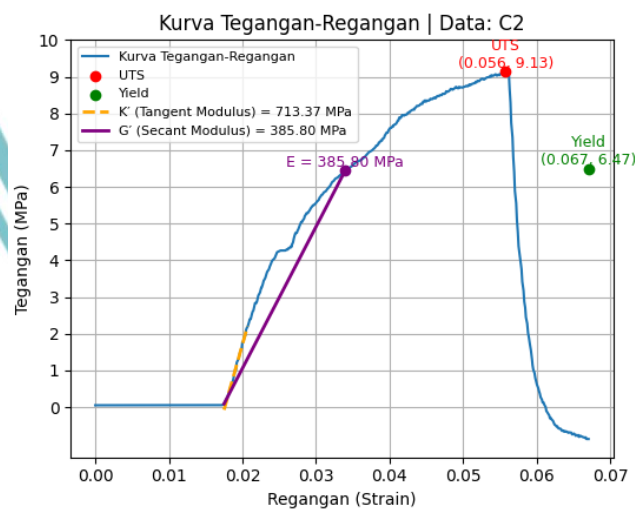
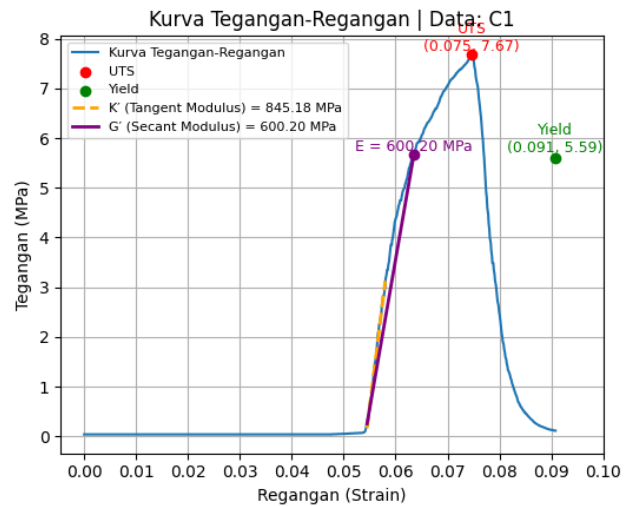
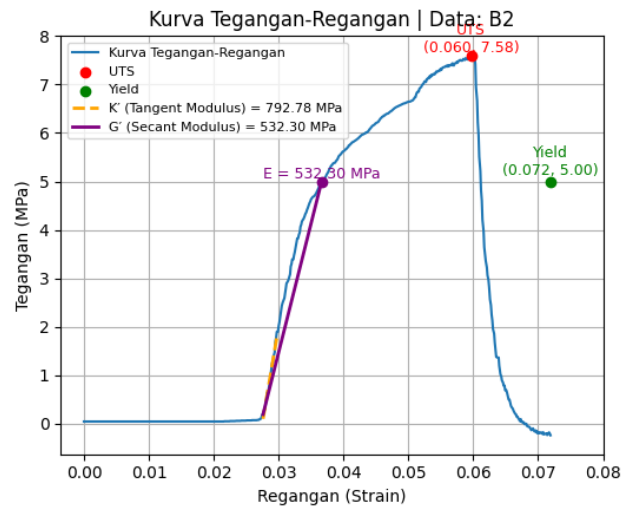
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan 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 9 Kurva Tegangan Regangan



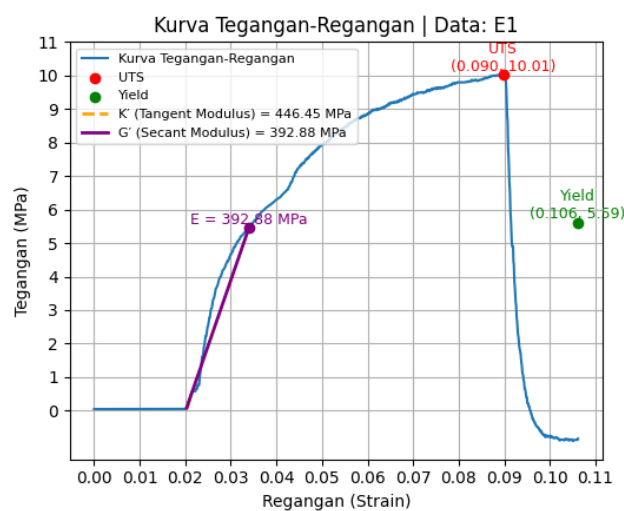
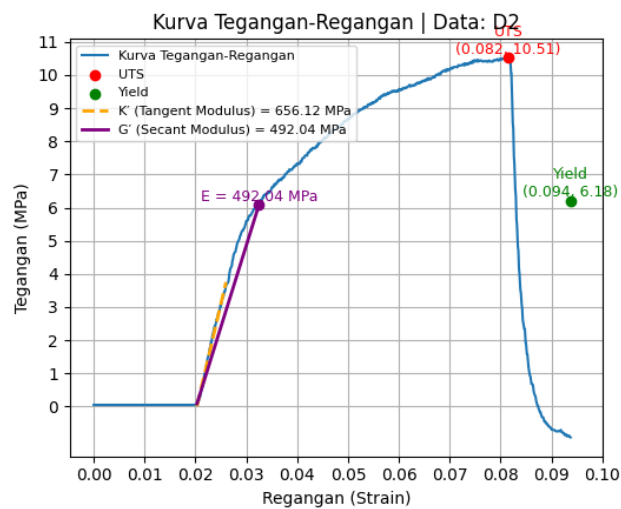
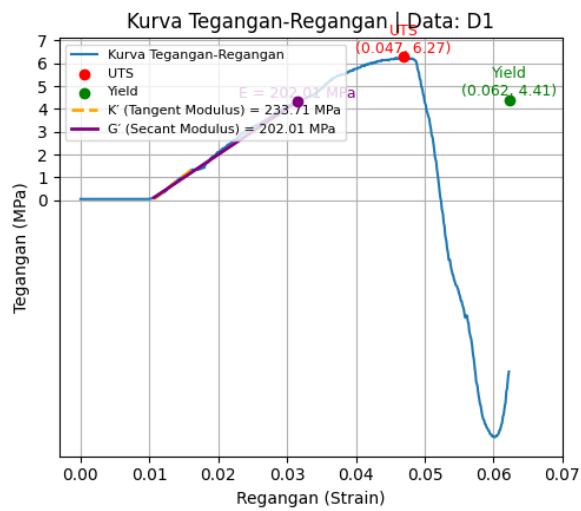
Hak Cipta :

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



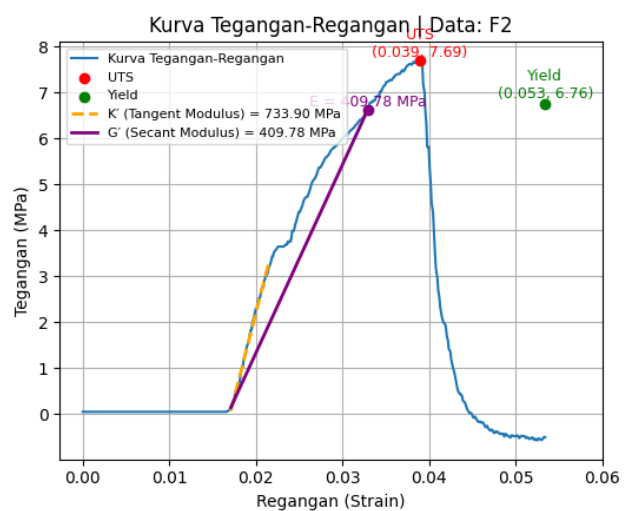
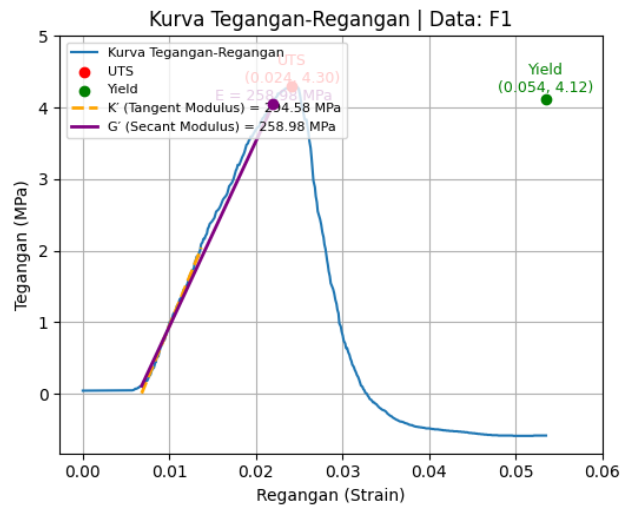
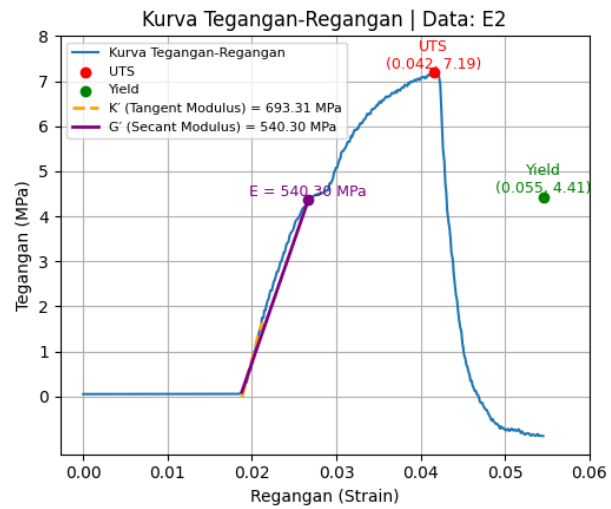
Hak Cipta :

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



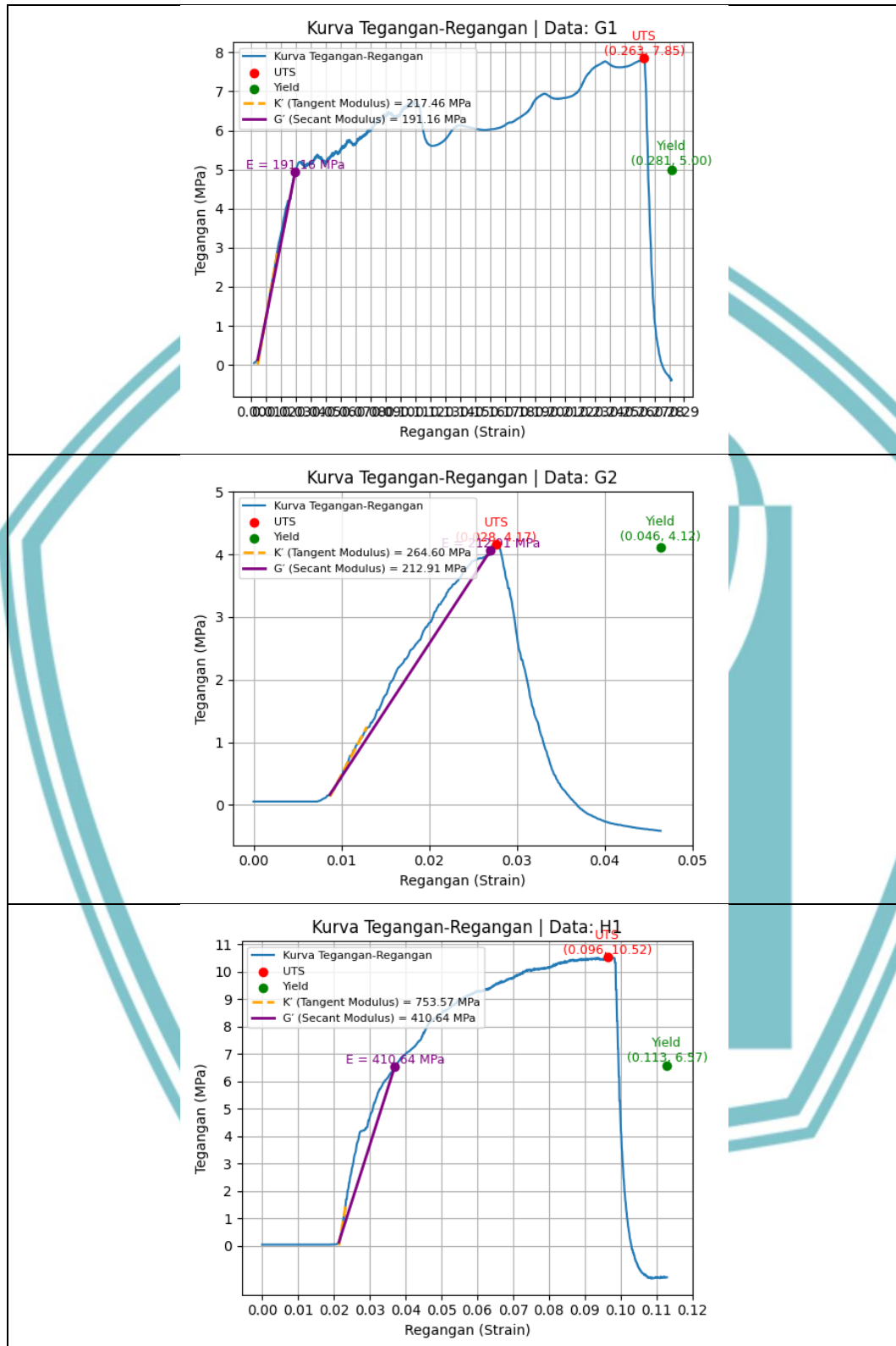
Hak Cipta :

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



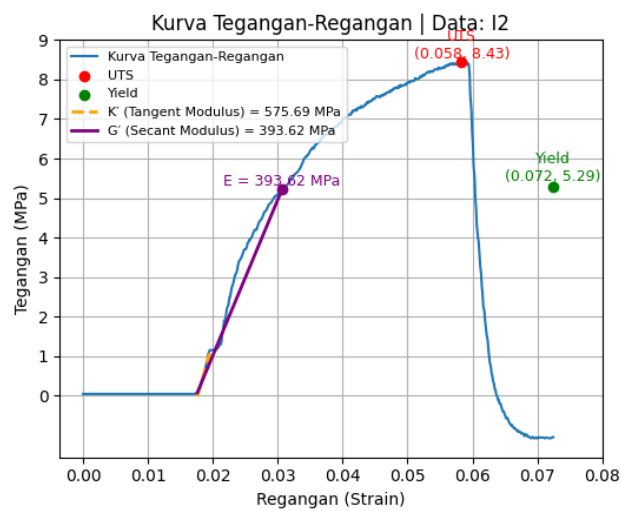
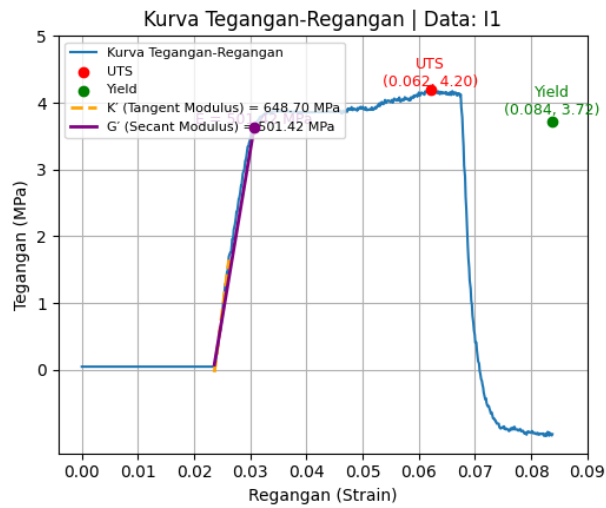
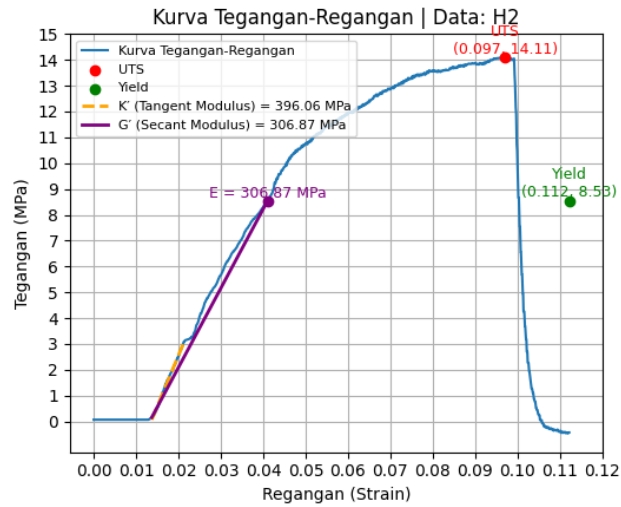
Hak Cipta :

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



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



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 10 SEM-EDS



**PT PANCARAN
TEKNOLOGI
INVESTINDO**
Metal Testing & Inspection

**LAPORAN PENGUJIAN FESEM
FESEM TEST REPORT**

Hal 2 dari 14

<u>Kode Sampel</u> <i>Sample Code</i>	<u>Perbesaran</u> <i>Magnification</i>	<u>Pembersihan</u> <i>Cleaning</i>	<u>Keterangan</u> <i>Remark</i>
FILAMEN D2 MAGNESIUM 5%	150x, 500x, 1000x, 2000x	No	No



Lampiran 1. Perbesaran 150 x

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di PT Pancaran Teknologi Investindo; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari PT Pancaran Teknologi Investindo.

Head Office:
Technology Business Incubation Center (TBIC) PUSPIITEK.
R. B2 Lt.1. Pengasinan, Gunung Sindur, Bogor, Jawa Barat 16340.

☎ 0896 7592 3991
✉ admin@pancatekindo.com / pancatekindo@gmail.com
🌐 <http://www.pancatekindo.com>

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

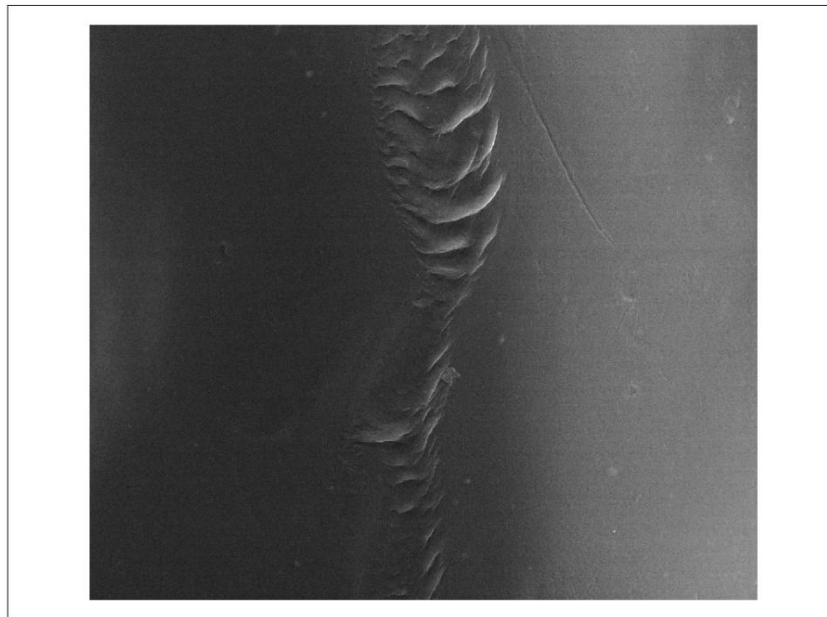


**PT PANCARAN
TEKNOLOGI
INVESTINDO**
Metal Testing & Inspection

**LAPORAN PENGUJIAN FESEM
FESEM TEST REPORT**

Hal 3 dari 14

<u>Kode Sampel</u> <i>Sample Code</i>	<u>Perbesaran</u> <i>Magnification</i>	<u>Pembersihan</u> <i>Cleaning</i>	<u>Keterangan</u> <i>Remark</i>
FILAMEN D2 MAGNESIUM 5%	150x, 500x, 1000x, 2000x	No	No



Lampiran 2. Perbesaran 500 x

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di PT Pancaran Teknologi Investindo; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari PT Pancaran Teknologi Investindo.

Head Office:

Technology Business Incubation Center (TBIC) PUSPIITEK,
R. B2 Lt.1. Pengasinan, Gunung Sindur, Bogor, Jawa Barat 16340.

☎ 0896 7592 3991

✉ admin@pancatekindo.com / pancatekindo@gmail.com
🌐 <http://www.pancatekindo.com>

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

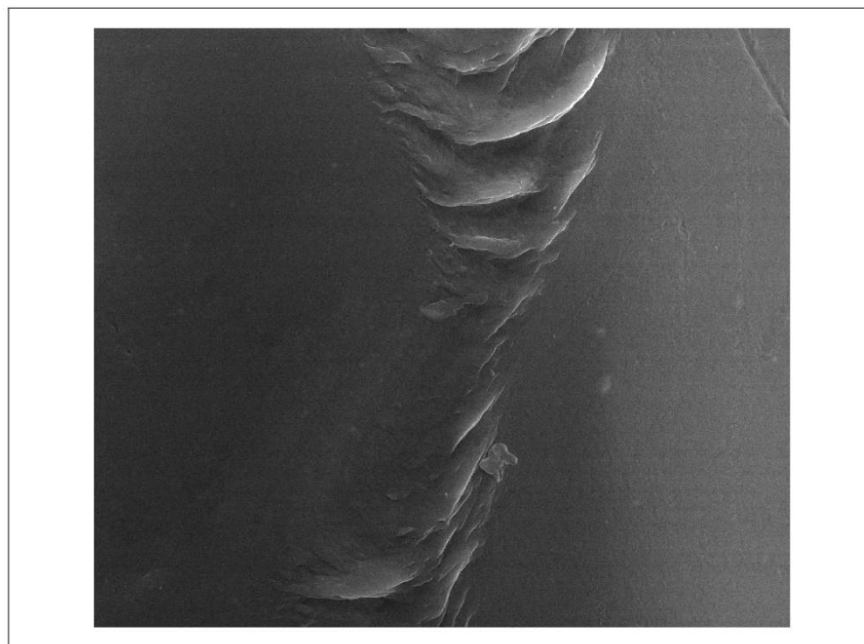


**PT PANCARAN
TEKNOLOGI
INVESTINDO**
Metal Testing & Inspection

**LAPORAN PENGUJIAN FESEM
FESEM TEST REPORT**

Hal 4 dari 14

<u>Kode Sampel</u> Sample Code	<u>Perbesaran</u> Magnification	<u>Pembersihan</u> Cleaning	<u>Keterangan</u> Remark
FILAMEN D2 MAGNESIUM 5%	150x, 500x, 1000x, 2000x	No	No



Lampiran 3. Perbesaran 1000 x

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di PT Pancaran Teknologi Investindo; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari PT Pancaran Teknologi Investindo.

Head Office:
Technology Business Incubation Center (TBIC) PUSPIPTEK.
R. B2 Lt.1. Pengasinan, Gunung Sindur, Bogor, Jawa Barat 16340.

☎ 0896 7592 3991
✉ admin@pancatekindo.com / pancatekindo@gmail.com
🌐 <http://www.pancatekindo.com>

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

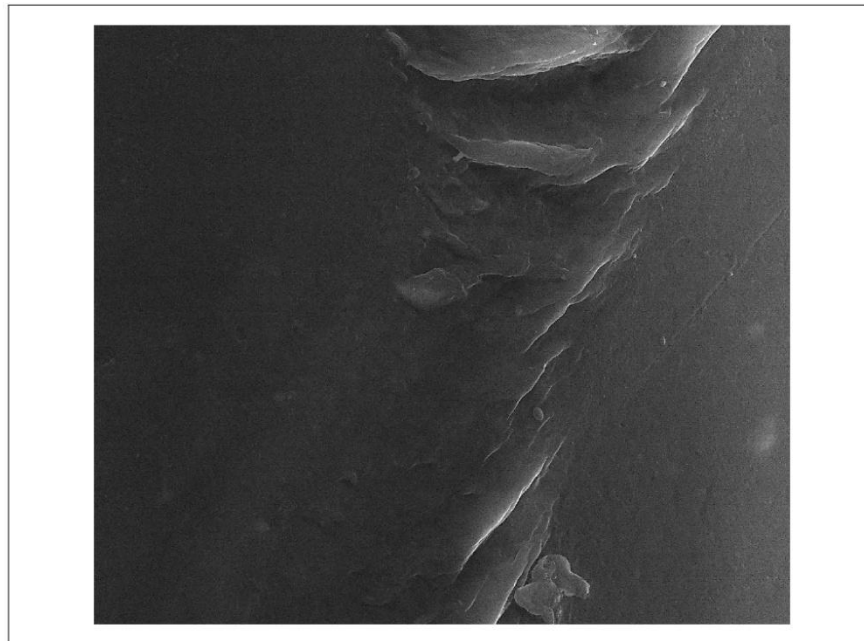


**PT PANCARAN
TEKNOLOGI
INVESTINDO**
Metal Testing & Inspection

**LAPORAN PENGUJIAN FESEM
FESEM TEST REPORT**

Hal 5 dari 14

<u>Kode Sampel</u> Sample Code	<u>Perbesaran</u> Magnification	<u>Pembersihan</u> Cleaning	<u>Keterangan</u> Remark
FILAMEN D2 MAGNESIUM 5%	150x, 500x, 1000x, 2000x	No	No



Lampiran 4. Perbesaran 2000 x

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di PT Pancaran Teknologi Investindo; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari PT Pancaran Teknologi Investindo.

Head Office:
Technology Business Incubation Center (TBIC) PUSPIITEK.
R. B2 Lt.1. Pengasinan, Gunung Sindur, Bogor, Jawa Barat 16340.

☎ 0896 7592 3991
✉ admin@pancatekindo.com / pancatekindo@gmail.com
🌐 <http://www.pancatekindo.com>

Hak Cipta :

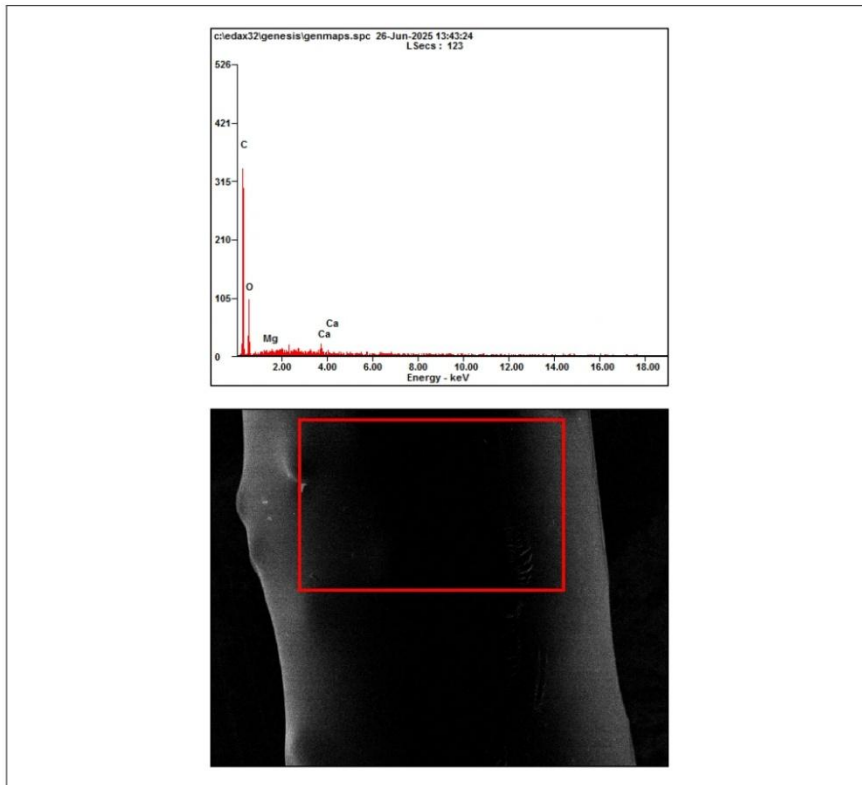
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



**PT PANCARAN
TEKNOLOGI
INVESTINDO**
Metal Testing & Inspection

**LAPORAN PENGUJIAN FESEM
FESEM TEST REPORT**

Hal 6 dari 14



<u>Kode Sampel</u> Sample Code	CK (wt%)	OK (wt%)	MgK (wt%)	CaK (wt%)
FILAMEN D2 MAGNESIUM 5%	57.72	40.24	00.90	01.13
	CK (at%)	OK (at%)	MgK (at%)	CaK (at%)
	65.06	34.05	00.50	00.38

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di PT Pancaran Teknologi Investindo; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari PT Pancaran Teknologi Investindo.



Head Office:
Technology Business Incubation Center (TBIC) PUSPIPTEK.
R. B2 Lt.1. Pengasinan, Gunung Sindur, Bogor, Jawa Barat 16340.

☎ 0896 7592 3991
✉ admin@pancatekindo.com / pancatekindo@gmail.com
🌐 http://www.pancatekindo.com

Hak Cipta :

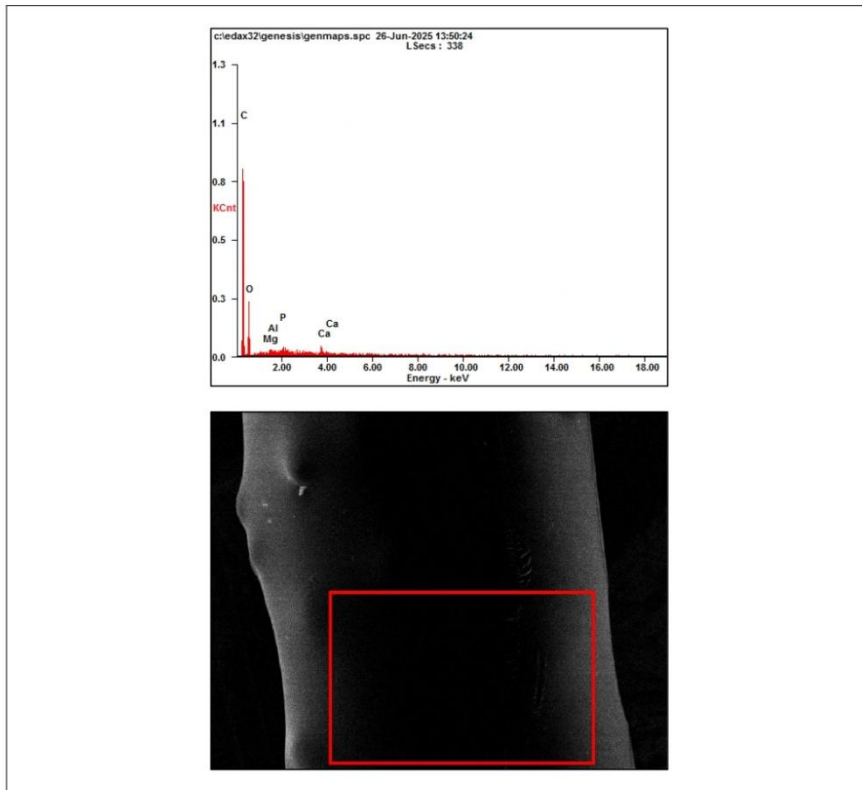
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



**PT PANCARAN
TEKNOLOGI
INVESTINDO**
Metal Testing & Inspection

**LAPORAN PENGUJIAN FESEM
FESEM TEST REPORT**

Hal 7 dari 14



Kode Sampel Sample Code	CK (wt%)	OK (wt%)	MgK (wt%)	AlK (wt%)	PK (w%)	CaK (wt%)
FILAMEN D2 MAGNESIUM 5%	58.60	38.04	00.61	00.96	00.80	01.01
	CK (wt%)	OK (wt%)	MgK (wt%)	AlK (wt%)	PK (w%)	CaK (wt%)
	66.22	32.27	00.34	00.48	00.35	00.34

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di PT Pancaran Teknologi Investindo; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari PT Pancaran Teknologi Investindo.



Head Office:
Technology Business Incubation Center (TBIC) PUSPIITEK.
R. B2 Lt.1. Pengasinan, Gunung Sindur, Bogor, Jawa Barat 16340.

☎ 0896 7592 3991
✉ admin@pancatekindo.com / pancatekindo@gmail.com
🌐 <http://www.pancatekindo.com>