



© 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



**PENGEMBANGAN KOMPOSIT *PCL-HA-Mg*
BERBASIS *SOLVENT CHLOROFORM* SEBAGAI
MATERIAL REKAYASA JARINGAN TULANG**

SKRIPSI

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh:

Bilal Ramadhan

NIM. 2202411028

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
JULI, 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



PENGEMBANGAN KOMPOSIT *PCL-HA-Mg* BERBASIS *SOLVENT CHLOROFORM* SEBAGAI MATERIAL REKAYASA JARINGAN TULANG

SKRIPSI

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

Oleh:

Bilal Ramadhan

NIM. 2202411028

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

JULI, 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



“Skripsi ini kupersembahkan untuk ayah, ibu, bangsa dan almamater”



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

LAPORAN SKRIPSI

PENGEMBANGAN KOMPOSIT *PCL-HA-Mg* BERBASIS *SOLVENT CHLOROFORM* SEBAGAI MATERIAL REKAYASA JARINGAN TULANG

Oleh:
Bilal Ramadhan
NIM. 2202411028
Program Studi Sarjana Terapan Manufaktur

Laporan 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

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

PENGEMBANGAN KOMPOSIT PCL-HA-Mg BERBASIS SOLVENT CHLOROFORM SEBAGAI MATERIAL REKAYASA JARINGAN TULANG

Oleh:

Bilal Ramadhan

NIM 2202411028

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 14 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.	Dhiya Luqyana , S.Tr.T., M.T. NIP. 199809212024062001	Ketua		20/07 2026
2.	Dr., Isnanda Nuriskasari , S.Si., M.T. NIP. 199306062019032030	Anggota		17/07 2026
3.	Radhi Maladzi, S.T., M.T NIP. 199307282024061001	Anggota		17/07 2026

Depok, 20 Juli 2026

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si.
NIP. 197602252000121002



© 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

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Bilal Ramadhan

NIM : 2202411028

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan 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 Laporan skripsi telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 29 Juni 2026



Bilal Ramadhan

NIM. 2202411028



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

PENGEMBANGAN FILAMEN KOMPOSIT *PCL-HA-Mg* BERBASIS *SOLVENT CHLOROFORM* SEBAGAI MATERIAL REKAYASA JARINGAN TULANG

Bilal Ramadhan¹⁾, Muslimin²⁾, Dhiya Luqyana¹⁾

¹⁾ Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

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

Email: bilal.ramadhan.tm22@mhs.w.pnj.ac.id

ABSTRAK

Kebutuhan material komposit dengan karakteristik yang sesuai untuk aplikasi rekayasa jaringan tulang mendorong pengembangan material berbasis PCL, HA, dan Mg. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kombinasi parameter optimum dari komposit PCL-HA-Mg untuk aplikasi rekayasa jaringan tulang menggunakan metode Taguchi. Variasi yang digunakan meliputi kandungan HA (3, 5, dan 10 wt%), Mg (3, 5, dan 10 wt%), serta suhu ekstruder (60, 65, dan 70°C) dengan *orthogonal array L9*. Respon yang digunakan adalah deviasi hasil pengukuran panjang spesimen terhadap dimensi standar ASTM D638 Tipe V. Analisis dilakukan menggunakan *S/N Ratio* dan ANOVA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi optimum diperoleh pada HA 10 wt%, Mg 10 wt%, dan suhu ekstruder 65°C (Sampel 9). Hasil ANOVA menunjukkan bahwa faktor Mg memberikan pengaruh terbesar terhadap respon yang diamati. Aplikasi rekayasa jaringan tulang memerlukan modulus elastisitas untuk mempertahankan struktural selama proses regenerasi tulang. Pengujian tarik menunjukkan bahwa Sampel optimum memiliki nilai modulus elastisitas dengan rata-rata sebesar 44 MPa. Pengujian SEM-EDS mengkonfirmasi keberadaan unsur C, O, Ca, P, dan Mg pada komposit, sedangkan hasil FTIR hanya menunjukkan PCL dan HA. Mg tidak teridentifikasi secara spesifik pada spektrum FTIR karena digunakan dalam bentuk logam bubuk yang tidak aktif terhadap radiasi inframerah.

Kata Kunci: Rekayasa Jaringan Tulang, Komposit PCL-HA-Mg, *3D Printing*, Optimasi Taguchi, SNR, 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

PENGEMBANGAN FILAMEN KOMPOSIT *PCL-HA-Mg* BERBASIS *SOLVENT CHLOROFORM* SEBAGAI MATERIAL REKAYASA JARINGAN TULANG

Bilal Ramadhan¹⁾, Muslimin²⁾, Dhiya Luqyana¹⁾

¹⁾ Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

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

Email: bilal.ramadhan.tm22@mhs.w.pnj.ac.id

ABSTRACT

The demand for composite materials with suitable characteristics for bone tissue engineering applications has driven the development of polycaprolactone (PCL), hydroxyapatite (HA), and magnesium (Mg)-based composites. This study aimed to determine the optimum parameter combination of PCL-HA-Mg composites for bone tissue engineering applications using the Taguchi method. The investigated parameters included HA content (3, 5, and 10 wt%), Mg content (3, 5, and 10 wt%), and extruder temperature (60, 65, and 70°C), arranged using an L9 orthogonal array. The response variable was the deviation of the measured specimen length from the ASTM D638 Type V standard dimension. Data were analyzed using the signal-to-noise (S/N) ratio and analysis of variance (ANOVA). The results indicated that the optimum parameter combination was obtained with 10 wt% HA, 10 wt% Mg, and an extruder temperature of 65°C (Sample 9). ANOVA revealed that Mg content had the greatest influence on the observed response. Since bone tissue engineering applications require adequate elastic modulus to maintain structural integrity during the bone regeneration process, tensile testing was performed. The optimum sample exhibited an average elastic modulus of 44 MPa. SEM-EDS analysis confirmed the presence of C, O, Ca, P, and Mg elements in the composite, while FTIR analysis identified only the characteristic functional groups of PCL and HA. Mg was not specifically detected in the FTIR spectrum because it was incorporated as metallic powder, which is not infrared-active.

Keywords: Bone Tissue Engineering, PCL-HA-Mg Composite, 3D Printing, Taguchi Optimization, Signal-to-Noise Ratio (S/N Ratio), 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

Segala puji serta syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu. Skripsi yang berjudul PENGEMBANGAN FILAMEN KOMPOSIT *PCL-HA-Mg* BERBASIS *SOLVENT CHLOROFORM* SEBAGAI MATERIAL REKAYASA JARINGAN TULANG. Terwujudnya skripsi ini tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh hormat penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
2. Bapak Radhi Maladzi, S.T., M.T, selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur Politeknik Negeri Jakarta.
3. Bapak Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T., M.T., IWE. selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan masukan, bimbingan dan pengarahan dalam penelitian.
4. Ibu Dhiya Luqyana, S.Tr.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah membimbing dan memberi arahan kepada penulis dalam menyusun skripsi.
5. Rekan-rekan Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam proses penyelesaian skripsi.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang konstruktif sangat diharapkan demi penyempurnaan di masa mendatang.

Depok, 26 Juni 2026

Bilal Ramadhan
NIM. 2202411028



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 ORISINALITAS	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian.....	4
1.3 Pertanyaan Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Landasan Teori	8
2.1.1 <i>Bone Scaffold</i>	8
2.1.2 <i>Polycaprolactone (PCL)</i>	8
2.1.3 <i>Magnesium (Mg)</i>	9
2.1.4 <i>Hydroxyapatite (HA)</i>	10
2.1.5 <i>Chloroform</i>	10
2.1.6 Metode Pencampuran	11
2.1.7 Filamen	12
2.1.8 Ekstruder Filamen.....	12
2.1.9 <i>3D Printing</i>	13
2.1.10 Metode Taguchi	14
2.1.10.1 <i>Nominal is best</i>	14
2.1.10.2 <i>Smaller is better</i>	14
2.1.10.3 <i>Larger is better</i>	15
2.1.11 ANOVA.....	15
2.1.12 Uji Tarik.....	15
2.1.13 Uji SEM.....	16



© 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

2.1.14 Uji FTIR.....	17
2.2 Kajian Literatur	18
2.3 Kerangka Pemikiran	22
2.4 Hipotesis	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Jenis Penelitian	23
3.2 Objek Penelitian	25
3.3 Metode Pengambilan Sampel	26
3.4 Tahapan Penelitian.....	27
3.5 Penjelasan Tahapan Penelitian.....	28
3.6 Jenis dan Sumber Data Penelitian	33
3.7 Metode Pengumpulan Data Penelitian	34
3.8 Metode Analisis Data	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Desain Eksperimen dan Sampel	35
4.2 Hasil Proses Pencampuran	36
4.3 Hasil Pengukuran Filamen	40
4.4 Hasil Pengukuran Spesimen.....	42
4.5 Hasil Analisis S/N Ratio.....	44
4.6 Analisis ANOVA	46
4.7 Hasil Uji Tarik	47
4.8 Hasil Uji SEM EDS.....	49
4.8 Hasil Uji FTIR.....	49
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	54
5.1 Kesimpulan.....	54
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	lv



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 <i>Polycaprolactone mechanical propeties</i>	9
Tabel 2.2 <i>Magnesium mechanical properties</i>	10
Tabel 2.3 Kajian Literatur	18
Tabel 3.2 Variabel Kontrol.....	24
Tabel 3.3 Matriks <i>Orthogonal Array</i> L9	26
Tabel 4.1 Faktor dan Level Percobaan	35
Tabel 4.2 Derajat Kebebasan.....	35
Tabel 4.3 Rancangan Percobaan Taguchi L9	36
Tabel 4.4 Hasil Proses Pencampuran	37
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Diameter Filamen	40
Tabel 4.6 Parameter <i>3D Print</i>	43
Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Panjang Spesimen.....	43
Tabel 4.8 Data deviasi dan SNR	45
Tabel 4.9 Tabel Pengaruh SNR	45
Tabel 4. 10 Tabel ANOVA terhadap SNR	46
Tabel 4.11 Hail Uji Tarik.....	48
Tabel 4.12 Komposisi Unsur Komposit PCL–HA–Mg	50
Tabel 4.13 Analisis Spektrum FTIR dari PCL-HA-Mg	51

**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 GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur <i>Scaffold</i>	8
Gambar 2.2 <i>Polycaprolactone</i>	9
Gambar 2.3 <i>Magnesium powder</i>	10
Gambar 2.4 <i>Hydroxyapatite scaffold</i>	10
Gambar 2.5 <i>Chloroform</i>	11
Gambar 2.6 Ilustrasi Metode Pencampuran	12
Gambar 2.7 Filamen	12
Gambar 2.8 Ilustrasi Ekstruder Filamen	13
Gambar 2.9 Ilustrasi proses <i>3D Printing</i>	14
Gambar 2.10 Pengujian Tarik Spesimen Polimer	16
Gambar 2.11 Contoh Hasil Uji SEM-EDS	17
Gambar 2.12 Hasil Uji FTIR	17
Gambar 2.13 Kerangka Pemikiran Penelitian.....	22
Gambar 3.1 Bentuk Spesimen ASTM D638 Tipe V	26
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....	28
Gambar 3.3 <i>Joil Digital Kitchen Scale</i>	29
Gambar 3.4 Proses Penimbangan Material PCL, HA, dan Mg.....	30
Gambar 3.5 <i>SH-2 Digital Lab Thermostatic Hot Plate Magnetic Stirrer Mixer</i> ..	30
Gambar 3.6 Tahapan fabrikasi proses pencampuran.....	31
Gambar 3.7 Wellzoom Desktop Filament Extruder	31
Gambar 3.8 Mesin <i>Bambulab A1 Mini</i>	32
Gambar 4.1 Segmen Pengukuran Filamen.....	40
Gambar 4.2 Ilustrasi pengukuran panjang spesimen.....	43
Gambar 4.3 Grafik Plot SNR.....	45
Gambar 4.4 Grafik Kurva Tegangan Regangan	48
Gambar 4.5 Hasil SEM EDS 500 μm	49
Gambar 4.6 Hasil Unsur SEM EDS 500 μm	49
Gambar 4.7 Spektrum EDS.....	50
Gambar 4.8 Spektrum FTIR dari PCL-HA-Mg	51



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 LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengujian Tarik Sampel A1-B3	lx
Lampiran 2 Hasil Uji Tarik Kode Sampel A1	lxi
Lampiran 3 Hasil Uji Tarik Kode Sampel A2	lxii
Lampiran 4 Hasil Uji Tarik Kode Sampel A3	lxiii
Lampiran 5 Hasil Uji Tarik Kode Sampel B1	lxiv
Lampiran 6 Hasil Uji Tarik Sampel Kode B2	lxv
Lampiran 7 Hasil Uji Tarik Sampel Kode B3	lxvi
Lampiran 8 Hasil Uji SEM-EDS 1.1	lxvii
Lampiran 9 Hasil Uji SEM-EDS 1.2	lxviii
Lampiran 10 Hasil Uji SEM-EDS 1.3	lxix
Lampiran 11 Hasil Uji SEM-EDS 1.4	lxx
Lampiran 12 Hasil Uji SEM-EDS 2.1	lxxi
Lampiran 13 Hasil Uji SEM-EDS 2.2	lxxii
Lampiran 14 Hasil Uji SEM-EDS 2.3	lxxiii
Lampiran 15 Hasil Uji FTIR 1.1	lxxiv
Lampiran 16 Hasil Uji FTIR 1.2	lxxv
Lampiran 17 Dokumentasi Pengujian Tarik	lxxvi
Lampiran 18 Hasil SNR dan ANOVA	lxxvii

**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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kerusakan tulang merupakan salah satu permasalahan kesehatan global yang memiliki dampak signifikan terhadap kualitas hidup manusia. Tulang tidak hanya berfungsi sebagai penopang struktur tubuh, tetapi juga berperan dalam melindungi organ vital serta menunjang mobilitas sehari-hari. Laporan *Global Burden of Disease Study* tahun 2019 mencatat sekitar 178 juta kasus fraktur baru dengan 455 juta kasus prevalen serta 25,8 juta tahun hidup dengan disabilitas, yang menunjukkan tingginya beban penyakit muskuloskeletal secara global [1]. Tingginya angka tersebut menunjukkan bahwa permasalahan kerusakan tulang bukan hanya isu medis, tetapi juga menjadi tantangan besar dalam bidang rekayasa biomaterial dan teknologi kesehatan.

Tulang memiliki kemampuan untuk memperbaiki dirinya sendiri melalui proses regenerasi. Pada kondisi tertentu seperti kerusakan tulang berskala besar, kemampuan ini menjadi terbatas dan tidak mampu mengembalikan struktur maupun fungsi tulang secara optimal. Kondisi ini mendorong perlunya pendekatan alternatif untuk membantu proses penyembuhan. Salah satu pendekatan yang berkembang pesat adalah rekayasa jaringan tulang, yang memanfaatkan material sebagai struktur sementara untuk mendukung pembentukan jaringan tulang baru [2].

Rekayasa jaringan tulang memanfaatkan *scaffold* sebagai kerangka tiga dimensi yang meniru lingkungan alami tulang untuk mendukung proses regenerasi. Oleh karena itu, akurasi dimensi *scaffold* menjadi parameter penting karena berkontribusi terhadap terbentuknya desain yang diperlukan untuk mendukung proses regenerasi [3].

Selain akurasi dimensi, *scaffold* juga harus memiliki sifat mekanik yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Salah satu aplikasi dalam rekayasa jaringan



© 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

muskuloskeletal adalah regenerasi *tendon–bone junction* (TBJ), yaitu antarmuka yang menghubungkan tendon dengan tulang. TBJ berfungsi mentransfer gaya tarik yang dihasilkan oleh kontraksi otot dari tendon menuju tulang sehingga memerlukan *scaffold* yang mampu mempertahankan integritas mekaniknya selama proses regenerasi. Oleh karena itu, pengujian tarik menjadi salah satu metode yang relevan untuk mengevaluasi kemampuan mekanik *scaffold* dalam menahan pembebanan tarik pada aplikasi tersebut [4].

Pemilihan material perlu dipertimbangkan untuk pengembangan rekayasa jaringan tulang. *Polycaprolactone* (PCL) banyak digunakan sebagai matriks tulang karena sifat yang aman bagi jaringan tubuh, serta memiliki stabilitas mekanik yang baik [5]. Karakteristik ini membuat PCL mampu mempertahankan bentuk dalam jangka waktu tertentu selama proses regenerasi berlangsung. PCL memiliki keterbatasan dalam mendukung interaksi langsung dengan sel dan jaringan biologis. Kondisi ini membuat PCL sering dikombinasikan dengan material lain untuk meningkatkan performanya.

Hydroxyapatite (HA) merupakan material yang dapat digunakan dalam rekayasa jaringan tulang karena memiliki kemiripan komposisi dengan mineral alami yang dapat menjadi tempat pertumbuhan tulang [6]. Kehadiran HA dalam tulang dapat meningkatkan kemampuan material dalam mendukung pertumbuhan jaringan tulang baru. Magnesium (Mg) juga menarik perhatian karena perannya dalam mendukung proses pembentukan tulang baru serta merangsang pembentukan pembuluh darah pada jaringan tulang [7]. Kombinasi material ini diharapkan dapat menciptakan lingkungan yang lebih mendukung bagi regenerasi jaringan. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan penguat seperti magnesium berbasis PCL juga berpotensi meningkatkan performa mekanik material [8]. Metode fabrikasi sangat menentukan kualitas yang dihasilkan. Pada proses fabrikasi, material komposit diproses menjadi filamen yang kemudian digunakan



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

sebagai bahan pencetakan. Filamen tersebut memungkinkan pembentukan dengan geometri yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi melalui teknologi *3D print* yang memberikan kemampuan untuk mencetak dengan desain presisi yang terkontrol [6].

Proses fabrikasi juga sering melibatkan penggunaan pelarut untuk membantu pencampuran material komposit. Pemilihan jenis pelarut menjadi faktor penting karena dapat memengaruhi kualitas pencampuran serta sifat akhir material. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *chloroform* sebagai pelarut pada fabrikasi berbasis PCL dapat menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik [9]. Hal ini dikarenakan Pemilihan *chloroform* sebagai pelarut didasarkan pada tingginya afinitas kelarutan terhadap PCL yang ditunjukkan oleh kesesuaian *Hansen Solubility Parameters* (HSP). Nilai parameter dispersi, polar, dan ikatan hidrogen *chloroform* masing-masing Kedekatan parameter tersebut menghasilkan interaksi antarmolekul yang kuat sehingga molekul *chloroform* mampu mengganggu gaya kohesi antar rantai PCL dan melarutkannya secara homogen [4]. Berbagai penelitian telah melakukan pengembangan rekayasa jaringan tulang berbasis PCL dan kombinasi dengan material lain, namun masih terdapat keterbatasan dalam kajian untuk mengintegrasikan *hydroxyapatite* dan magnesium dalam satu sistem komposit. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengusulkan pendekatan melalui pengembangan komposit berbasis PCL–HA–Mg dengan menggunakan *chloroform* sebagai pelarut. Penelitian ini berfokus pada optimasi parameter komposisi dan proses fabrikasi komposit PCL–HA–Mg berbasis solvent *chloroform* menggunakan metode Taguchi untuk memperoleh spesimen ASTM D638 dengan deviasi yang paling kecil melalui tahapan pembentukan film, ekstrusi filamen, dan fabrikasi spesimen. Sampel optimum selanjutnya diuji melalui pengujian tarik, SEM-EDS, dan FTIR untuk mengevaluasi karakteristik material sebagai material rekayasa jaringan tulang. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan komposit PCL–HA–Mg sebagai material rekayasa jaringan



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

tulang melalui pemahaman mengenai hubungan antara komposisi material, proses fabrikasi, dan karakteristik akhir material yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Rumusan Masalah dalam penelitian ini dikarenakan kerusakan tulang merupakan permasalahan kesehatan global dengan jumlah sekitar 178 juta kasus fraktur, serta 25,8 juta tahun hidup dengan disabilitas [1]. Kondisi tersebut mendorong pengembangan rekayasa jaringan tulang, salah satunya melalui penggunaan komposit *Polycaprolactone* (PCL), *Hydroxyapatite* (HA), dan *Magnesium* (Mg), yang diharapkan mampu meningkatkan karakteristik material dibandingkan PCL murni [2].

Meskipun kombinasi PCL, HA, dan Mg telah diteliti, pengaruh variasi kandungan HA, Mg, serta suhu ekstruder terhadap karakteristik dimensi komposit PCL–HA–Mg masih belum dipahami secara menyeluruh. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode Taguchi untuk memperoleh spesimen ASTM D638 Tipe V dengan dimensi yang paling mendekati standar melalui optimasi kandungan HA, Mg, dan suhu ekstruder. Sampel optimum selanjutnya dilakukan pengujian tarik, SEM–EDS, dan FTIR untuk mengevaluasi sifat mekanik, morfologi, dan gugus fungsi komposit sebagai kandidat material rekayasa jaringan tulang.

1.3 Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan penelitian ini difokuskan untuk menjawab beberapa pertanyaan sebagai berikut:

1. Kombinasi parameter HA, Mg, dan suhu ekstruder manakah yang menghasilkan spesimen ASTM D638 dengan dimensi yang paling mendekati standar berdasarkan metode Taguchi?
2. Bagaimana hasil pengujian Tarik dari sampel komposit PCL–HA–Mg yang terpilih berdasarkan metode Taguchi?
3. Bagaimana hasil analisis sampel komposit PCL–HA–Mg yang terpilih berdasarkan metode Taguchi melalui pengujian SEM-EDS, dan FTIR?



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

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kombinasi parameter HA, Mg, dan suhu ekstruder yang menghasilkan spesimen ASTM D638 dengan dimensi yang paling mendekati standar berdasarkan metode Taguchi.
2. Menganalisis hasil pengujian Tarik dari sampel komposit PCL–HA–Mg yang terpilih berdasarkan metode Taguchi.
3. Menganalisis sampel komposit PCL–HA–Mg yang terpilih berdasarkan metode Taguchi melalui pengujian SEM-EDS, dan FTIR.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan material komposit *Polycaprolactone* (PCL), *Hydroxyapatite* (HA), dan Magnesium (Mg) sebagai bahan.
2. Proses fabrikasi filamen dibatasi pada metode pencampuran menggunakan pelarut *chloroform*, yang meliputi proses pencampuran, ekstrusi filamen, dan proses *3D Printing*.
3. Optimasi parameter dilakukan menggunakan metode Taguchi dengan variasi kandungan HA, Mg, dan suhu ekstruder berdasarkan deviasi dimensi spesimen terhadap standar ASTM D638 Tipe V.
4. Pengujian material dibatasi pada pengujian tarik, *Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM–EDS), dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).
5. Penelitian ini tidak mencakup pengujian biologis.

1.6 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. Bagi Penulis, penelitian ini dapat menambah wawasan dan pengalaman dalam pengembangan komposit PCL–HA–Mg berbasis solvent *chloroform*, serta penerapan metode Taguchi dan pengujian material melalui pengujian tarik, SEM-EDS, dan FTIR.



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. Bagi Akademisi dan Peneliti, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah mengenai optimasi parameter komposisi HA, Mg, dan suhu ekstruder pada fabrikasi komposit berbasis PCL, serta menjadi dasar untuk penelitian lanjutan dalam pengembangan material rekayasa jaringan tulang.
3. Penelitian ini diharapkan memberikan informasi mengenai karakteristik mekanik, morfologi, dan gugus fungsi komposit PCL–HA–Mg sehingga dapat menjadi salah satu referensi dalam pengembangan material rekayasa jaringan tulang berbasis polimer komposit.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan ini sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi landasan teori yang mendukung penelitian, meliputi konsep material rekayasa jaringan tulang, karakteristik PCL, HA, dan Mg, metode pencampuran berbasis solvent *chloroform*, teknologi ekstrusi filamen, serta metode pengujian material.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memaparkan metodologi penelitian yang mencakup desain eksperimen menggunakan metode Taguchi, penentuan variabel penelitian, serta objek penelitian dan metode analisis data yang digunakan dalam penelitian serta tahapan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian dan pembahasan yang meliputi hasil proses pembuatan komposit PCL–HA–Mg, hasil analisis data



© 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

menggunakan metode yang telah ditetapkan, serta pengujian material untuk mengevaluasi kualitas sampel yang dihasilkan.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.



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 HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pada penelitian ini, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode Taguchi berhasil menentukan kombinasi parameter optimum berdasarkan analisis SNR, yaitu HA 10 wt%, Mg 10 wt%, dan suhu ekstruder 65°C (Sampel 9).
2. Analisis Signal-to-Noise Ratio mengidentifikasi Mg sebagai faktor yang paling berpengaruh berdasarkan nilai Delta tertinggi. Namun, hasil ANOVA menunjukkan bahwa seluruh faktor memiliki P-value > 0,05, sehingga pengaruhnya belum signifikan secara statistik.
3. Pengujian tarik menunjukkan bahwa Sampel optimum memiliki nilai modulus elastisitas dengan rata rata sebesar 44 MPa.
4. Hasil SEM-EDS mengkonfirmasi keberadaan unsur penyusun komposit PCL-HA-Mg, sedangkan FTIR hanya mengidentifikasi unsur PCL dan HA. Mg tidak terdeteksi pada FTIR karena berupa logam bubuk yang tidak aktif terhadap radiasi inframerah.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian serta keterbatasan yang ditemui selama pelaksanaan penelitian, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya:

1. Penelitian selanjutnya dapat menganalisis pengaruh parameter proses pencetakan (3D printing) terhadap karakteristik komposit yang dihasilkan.
2. Pada proses fabrikasi selanjutnya, disarankan menggunakan mesin ekstruder yang dilengkapi dengan indikator RPM (LED display), sehingga kecepatan putaran (RPM) dapat dijadikan sebagai faktor atau variabel bebas dalam penelitian.
3. Penelitian selanjutnya dapat dilengkapi dengan pengujian biologis.



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] A. M. Wu, C. Bisignano, and S. L. James, “Global, regional, and national burden of bone fractures in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis from the Global Burden of Disease Study 2019,” *Lancet Healthy Longev.*, vol. 2, no. 9, pp. e580–e592, Sep. 2021, doi: 10.1016/S2666-7568(21)00172-0.
- [2] T. Ghassemi, A. Shahroodi, M. H. Ebrahimzadeh, A. Mousavian, J. Movaffagh, and A. Moradi, “CURRENT CONCEPTS REVIEW Current Concepts in Scaffolding for Bone Tissue Engineering,” 2018. [Online]. Available: <http://abjs.mums.ac.ir/theonlineversionofthisarticleabjs.mums.ac.ir>
- [3] L. Roseti *et al.*, “Scaffolds for Bone Tissue Engineering: State of the art and new perspectives,” Sep. 01, 2017, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.msec.2017.05.017.
- [4] W. K. Grier, R. A. Sun Han Chang, M. D. Ramsey, and B. A. C. Harley, “The influence of cyclic tensile strain on multi-compartment collagen-GAG scaffolds for tendon-bone junction repair,” *Connect. Tissue Res.*, vol. 60, no. 6, pp. 530–543, 2019, doi: 10.1080/03008207.2019.1601183.
- [5] H. Y. Liang *et al.*, “Polycaprolactone in Bone Tissue Engineering: A Comprehensive Review of Innovations in Scaffold Fabrication and Surface Modifications,” Sep. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/jfb15090243.
- [6] F. Z. Wang *et al.*, “3D-Printed Polycaprolactone/Hydroxyapatite Bionic Scaffold for Bone Regeneration,” *Polymers (Basel)*, vol. 17, no. 7, Apr. 2025, doi: 10.3390/polym17070858.
- [7] A. Shanmugavadivu, S. Lekhavadhani, S. Babu, N. Suresh, and N. Selvamurugan, “Magnesium-incorporated biocomposite scaffolds: A novel frontier in bone tissue engineering,” Jun. 01, 2024, *KeAi Communications Co.* doi: 10.1016/j.jma.2024.06.001.
- [8] 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, Dec. 2021, doi: 10.1186/s12951-021-01012-1.
- [9] D. Cicenas and A. Šešok, “Influence of Different Solvents on the Mechanical Properties of Electrospun Scaffolds,” *Materials*, vol. 18, no. 2, Jan. 2025, doi: 10.3390/ma18020355.



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

- [10] C. Wang *et al.*, “3D printing of bone tissue engineering scaffolds,” Mar. 01, 2020, *KeAi Communications Co.* doi: 10.1016/j.bioactmat.2020.01.004.
- [11] 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, 2024, doi: 10.3389/fmats.2024.1294811.
- [12] 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, 2024, doi: 10.3389/fbioe.2024.1407512.
- [13] W. Wang *et al.*, “Morphological, mechanical and biological assessment of PCL/pristine graphene scaffolds for bone regeneration,” *Int. J. Bioprint.*, vol. 2, no. 2, pp. 95–104, 2016, doi: 10.18063/IJB.2016.02.009.
- [14] J. Hu, J. Shao, G. Huang, J. Zhang, and S. Pan, “In Vitro and In Vivo Applications of Magnesium-Enriched Biomaterials for Vascularized Osteogenesis in Bone Tissue Engineering: A Review of Literature,” Jun. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/jfb14060326.
- [15] R. García-Sobrinho, M. Muñoz, E. Rodríguez-Jara, J. Rams, B. Torres, and S. C. Cifuentes, “Bioabsorbable Composites Based on Polymeric Matrix (PLA and PCL) Reinforced with Magnesium (Mg) for Use in Bone Regeneration Therapy: Physicochemical Properties and Biological Evaluation,” Dec. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/polym15244667.
- [16] D. S. Kumar, C. T. Sasanka, K. Ravindra, and K. N. S. Suman, “Magnesium and Its Alloys in Automotive Applications – A Review,” *American Journal of Materials Science and Technology*, 2015, doi: 10.7726/ajmst.2015.1002.
- [17] I. Ielo, G. Calabrese, G. De Luca, and S. Conoci, “Recent Advances in Hydroxyapatite-Based Biocomposites for Bone Tissue Regeneration in Orthopedics,” Sep. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/ijms23179721.
- [18] R. Ismail *et al.*, “Characterization of PLA/PCL/Green Mussel Shells Hydroxyapatite (HA) Biocomposites Prepared by Chemical Blending Methods,” *Materials*, vol. 15, no. 23, Dec. 2022, doi: 10.3390/ma15238641.
- [19] S. Biscaia *et al.*, “3D Printed Poly(ϵ -caprolactone)/Hydroxyapatite Scaffolds for Bone Tissue Engineering: A Comparative Study on a Composite Preparation by Melt Blending or Solvent Casting Techniques



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

and the Influence of Bioceramic Content on Scaffold Properties,” *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 23, no. 4, Feb. 2022, doi: 10.3390/ijms23042318.

- [20] D. S. Boucher, “Solubility parameters and solvent affinities for polycaprolactone: A comparison of methods,” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 137, no. 30, Aug. 2020, doi: 10.1002/app.48908.
- [21] B. De Vega *et al.*, “Comparative analysis of solvent-based and solvent-free (melting) methods for fabricating 3D-printed polycaprolactone-hydroxyapatite composite bone scaffolds: physicochemical/mechanical analyses and in vitro cytocompatibility,” *Front. Bioeng. Biotechnol.*, vol. 12, 2024, doi: 10.3389/fbioe.2024.1473777.
- [22] 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,” 2023.
- [23] A. Teguh Prakoso, H. Basri, A. Arifin, D. Adanta, and I. Akbar, “Applied Mechanics and Design.” [Online]. Available: <https://ssrn.com/abstract=5214789>
- [24] 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, Feb. 2022, doi: 10.3390/polym14040669.
- [25] C. Bertinetto, J. Engel, and J. Jansen, “ANOVA simultaneous component analysis: A tutorial review,” Nov. 01, 2020, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.acax.2020.100061.
- [26] G. Issayev, A. Aitmaganbet, E. Shehab, and M. H. Ali, “Bonding Strength Analysis of Multi-material and Multi-color Specimens Printed with Multi-extrusion Printer,” *Manufacturing Technology*, vol. 21, no. 5, pp. 627–633, 2021, doi: 10.21062/mft.2021.072.
- [27] K. Srinivas, “UNIAXIAL TENSION TEST: THE MOTHER OF ALL MECHANICAL TESTS,” 2017. [Online]. Available: <http://www.advanses.com>
- [28] K. Al-Amin, M. Kawsar, M. T. R. B. Mamun, and M. Sahadat Hossain, “Fourier transform infrared spectroscopic technique for analysis of inorganic materials: a review,” 2025, *Royal Society of Chemistry*. doi: 10.1039/d5na00522a.



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

- [29] P. Shokrollahi, M. Mehmanchi, M. Atai, H. Omidian, and F. Shokrollahi, "Effect of interface on mechanical properties and biodegradation of PCL HAp supramolecular nano-composites," *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, vol. 25, no. 1, pp. 23–35, Jan. 2014, doi: 10.1007/s10856-013-5039-6.
- [30] 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, Feb. 2022, doi: 10.3390/polym14040669.
- [31] R. B. Kristiawan, B. Rusdyanto, F. Imaduddin, and D. Ariawan, "Glass powder additive on recycled polypropylene filaments: A sustainable material in 3d printing," *Polymers (Basel)*., vol. 14, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.3390/polym14010005.
- [32] C. Hamzaçebi, "Taguchi Method as a Robust Design Tool," 200AD. [Online]. Available: www.intechopen.com
- [33] P. Kroklicheva *et al.*, "Low-temperature bioresorbable composite material magnesium-hydroxyapatite," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Dec. 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1347/1/012078.
- [34] M. Petousis *et al.*, "Biomedical Composites of Polycaprolactone/Hydroxyapatite for Bioplotting: Comprehensive Interpretation of the Reinforcement Course," *Polymers (Basel)*., vol. 16, no. 17, Sep. 2024, doi: 10.3390/polym16172400.
- [35] S. Jiang, J. Zhang, T. Tian, M. You, C. Qu, and Y. Li, "3D printing of magnesium-containing biomedical materials for bone repairment towards actual applications," 2025, *Frontiers Media SA*. doi: 10.3389/fmats.2025.1682972.
- [36] F. Scocozza *et al.*, "Shape fidelity and sterility assessment of 3D printed polycaprolactone and hydroxyapatite scaffolds," *Journal of Polymer Research*, vol. 28, no. 9, Sep. 2021, doi: 10.1007/s10965-021-02675-y.
- [37] M. Namnabat, E. Tamjid, P. Najafi, and E. Bazazzadeh, "Coupled osteogenesis and angiogenesis on 3D-printed highly porous PCL/magnesium/laponite nanocomposite scaffold," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-28284-z.
- [38] W. Y. Choi, H. E. Kim, S. Y. Oh, and Y. H. Koh, "Synthesis of poly(ϵ -caprolactone)/hydroxyapatite nanocomposites using in-situ co-precipitation," *Materials Science and Engineering C*, vol. 30, no. 5, pp. 777–780, Jun. 2010, doi: 10.1016/j.msec.2010.02.023.



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

- [39] F. Liu *et al.*, “3D Printed Multi-Functional Scaffolds Based on Poly(ϵ -Caprolactone) and Hydroxyapatite Composites,” 2021, doi: 10.3390/nano.
- [40] S. Han *et al.*, “Earth system science applications of next-generation SEM-EDS automated mineral mapping,” Nov. 23, 2022, *Frontiers Media SA*. doi: 10.3389/feart.2022.956912.
- [41] R. Nithya and N. Meenakshi Sundaram, “Biodegradation and cytotoxicity of ciprofloxacin-loaded hydroxyapatite-polycaprolactone nanocomposite film for sustainable bone implants,” *Int. J. Nanomedicine*, vol. 10, pp. 119–127, Oct. 2015, doi: 10.2147/IJN.S79995.
- [42] S. Shkarina *et al.*, “3D biodegradable scaffolds of polycaprolactone with silicate-containing hydroxyapatite microparticles for bone tissue engineering: High-resolution tomography and in vitro study,” *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, Dec. 2018, doi: 10.1038/s41598-018-27097-7.
- [43] J. Coates, “Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach.”
- [44] M. I. Hassan and N. Sultana, “Characterization, drug loading and antibacterial activity of nanohydroxyapatite/polycaprolactone (nHA/PCL) electrospun membrane,” *3 Biotech*, vol. 7, no. 4, Aug. 2017, doi: 10.1007/s13205-017-0889-0.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© 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

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengujian Tarik Sampel A1-B3



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

LAPORAN PENGUJIAN TARIK TENSILE TEST REPORT

Hal 1 dari 7

Nomor Laporan Report Number	M-022/R-PTI/2026	Tanggal Terima Receiving Date	8 Juni 2026
Nomor Kontrak Contract Number	073/UJPTI/2026	Tanggal Uji Date of Test	9 Juni 2026
Pemakai Jasa Customer	Hilal Ramadhan	Standar Standard	ASTM D638
Alamat Address	Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16425	Metode Uji Testing Method	Tarik
Bahan Material	Polimer	Mesin Uji Testing Machine	TM2101-T5 Servo Control Computer System Universal Testing Machine*

Sketsa Sampel
Sample Figure



Kode Sampel Sample Code	Dimensi Ukur Size Dimension (mm)	Luas Area (mm ²)	Panjang Ukur Gauge Length (mm)	Kuat Tarik Tensile Stress (kgf/mm ²) [MPa]	Regangan Elongation (%)	Keterangan Remark
Sampel A1	t = 3,24 w = 3,49	11,31	6,00	1,28 [12,51]**	546,17	-
Sampel A2	t = 3,19 w = 3,36	10,72	6,00	1,31 [12,84]**	749,67	-
Sampel A3	t = 3,18 w = 3,45	10,97	6,00	1,14 [11,14]**	355,17	-
Sampel B1	t = 3,16 w = 3,18	10,05	6,00	1,23 [12,08]**	1930,00	-
Sampel B2	t = 3,17 w = 3,30	10,46	6,00	1,34 [13,13]**	2224,83	-
Sampel B3	t = 3,10 w = 3,42	10,60	6,00	1,25 [12,30]**	1602,67	-

catatan :

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

** dikali dengan 9,81

Bogor, 10 Juni 2026
Kepala Divisi Pengujian Material
(Dr. Wernichwah, S.T., M.Pd.)

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.



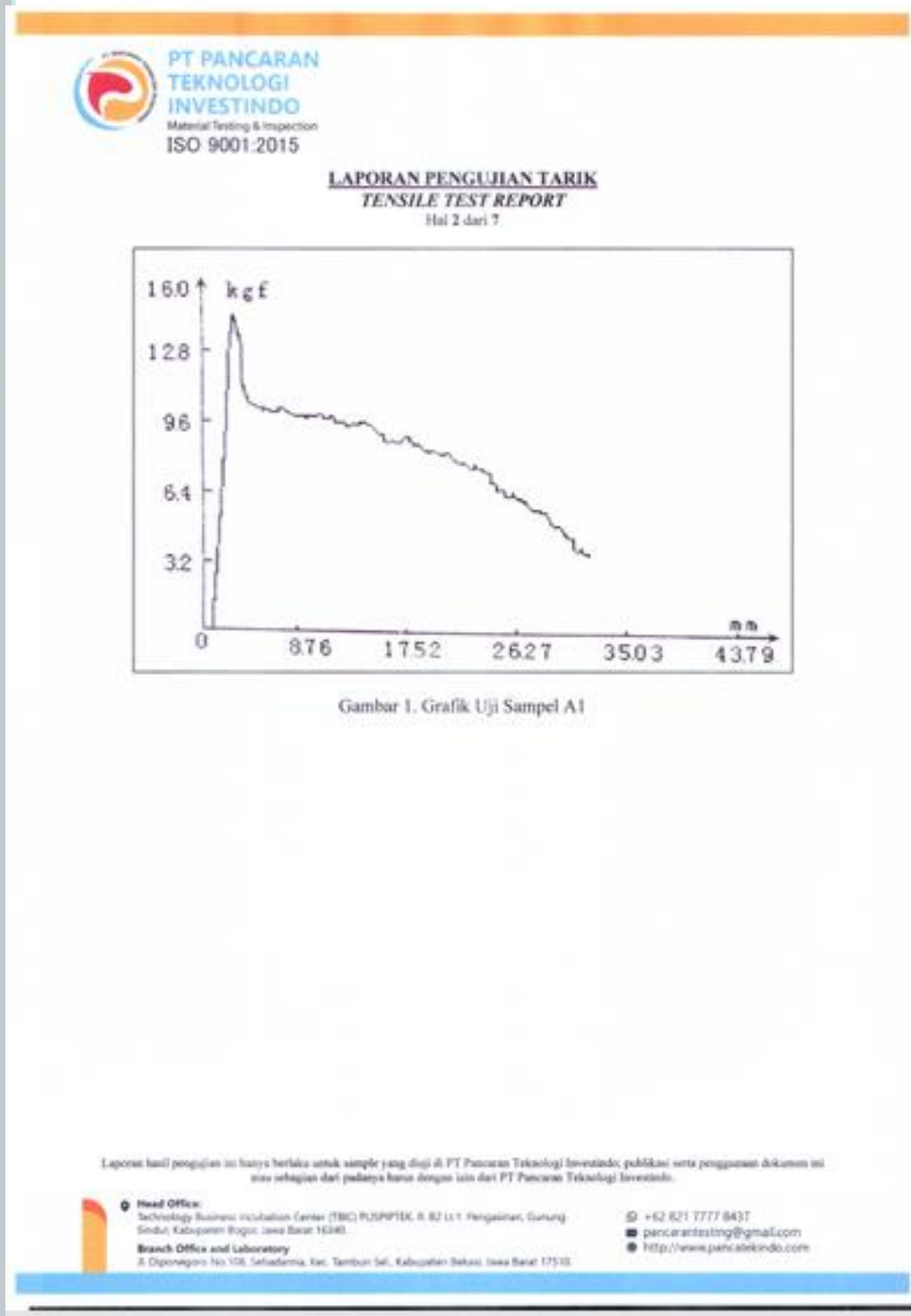
Head Office:
Technology Business Incubation Center (TBIC) RUSPOTEX, R. 82 Lt.1, Pengasinan, Gunung
Sindur, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16140.
Branch Office and Laboratory
Jl. Diponegoro No.108, Setiabudi, Kel. Tambora Sel., Kabupaten Bekasi, Jawa Barat 17110.

☎ +62 821 7777 8437
✉ pancaraninvestindo@gmail.com
🌐 <http://www.pancartekindo.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

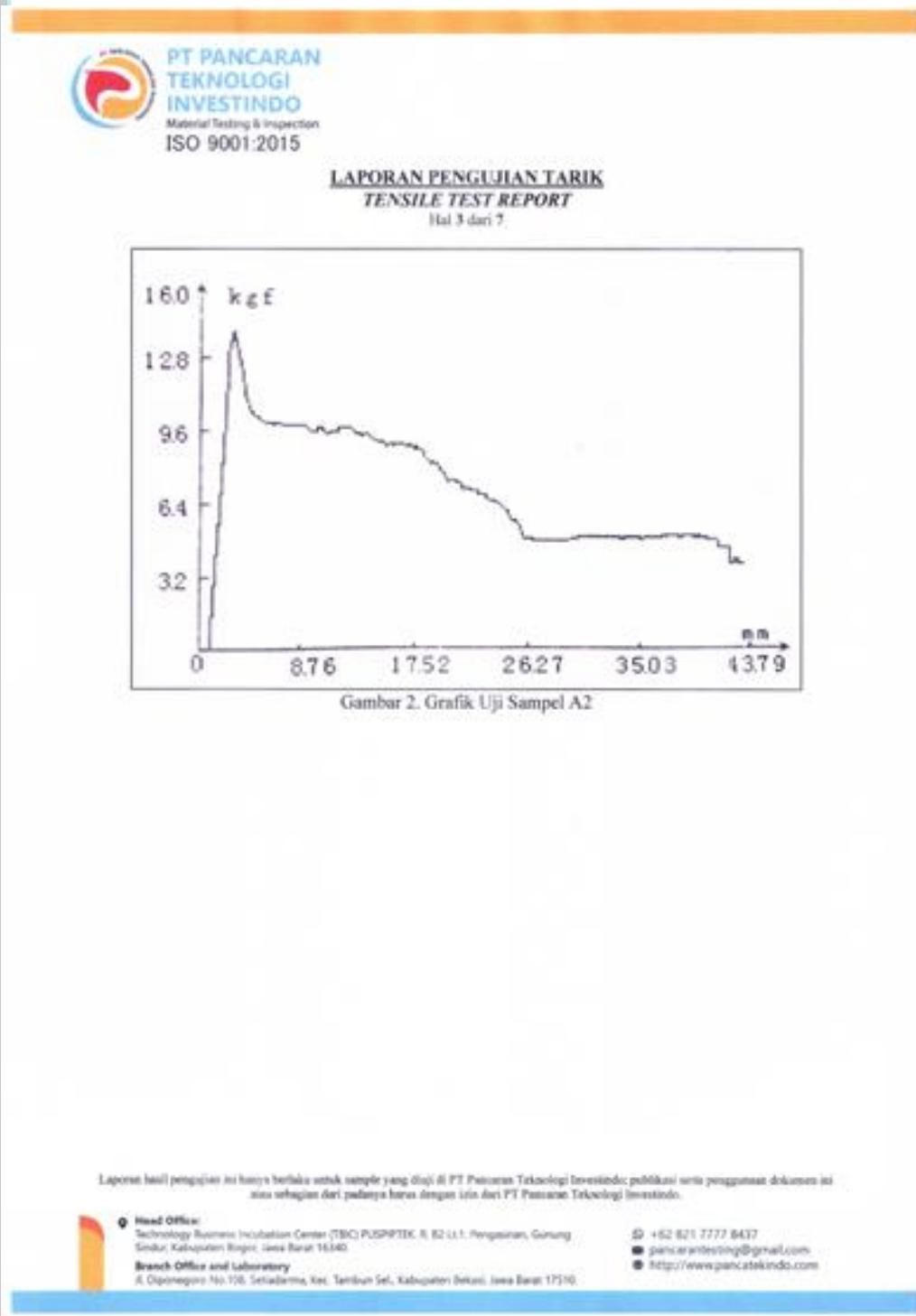
Lampiran 2 Hasil Uji Tarik Kode Sampel A1



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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

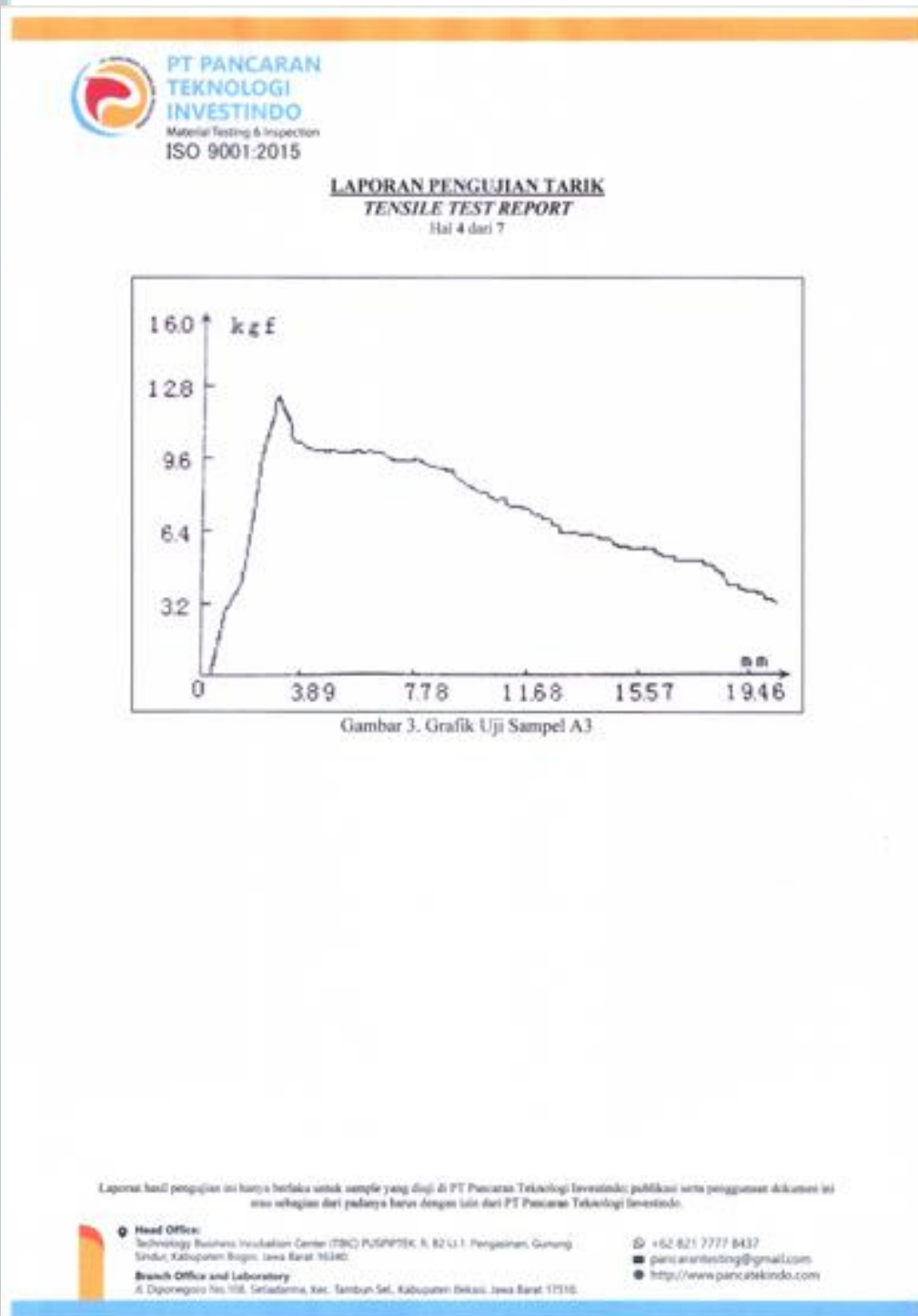
Lampiran 3 Hasil Uji Tarik Kode Sampel A2



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

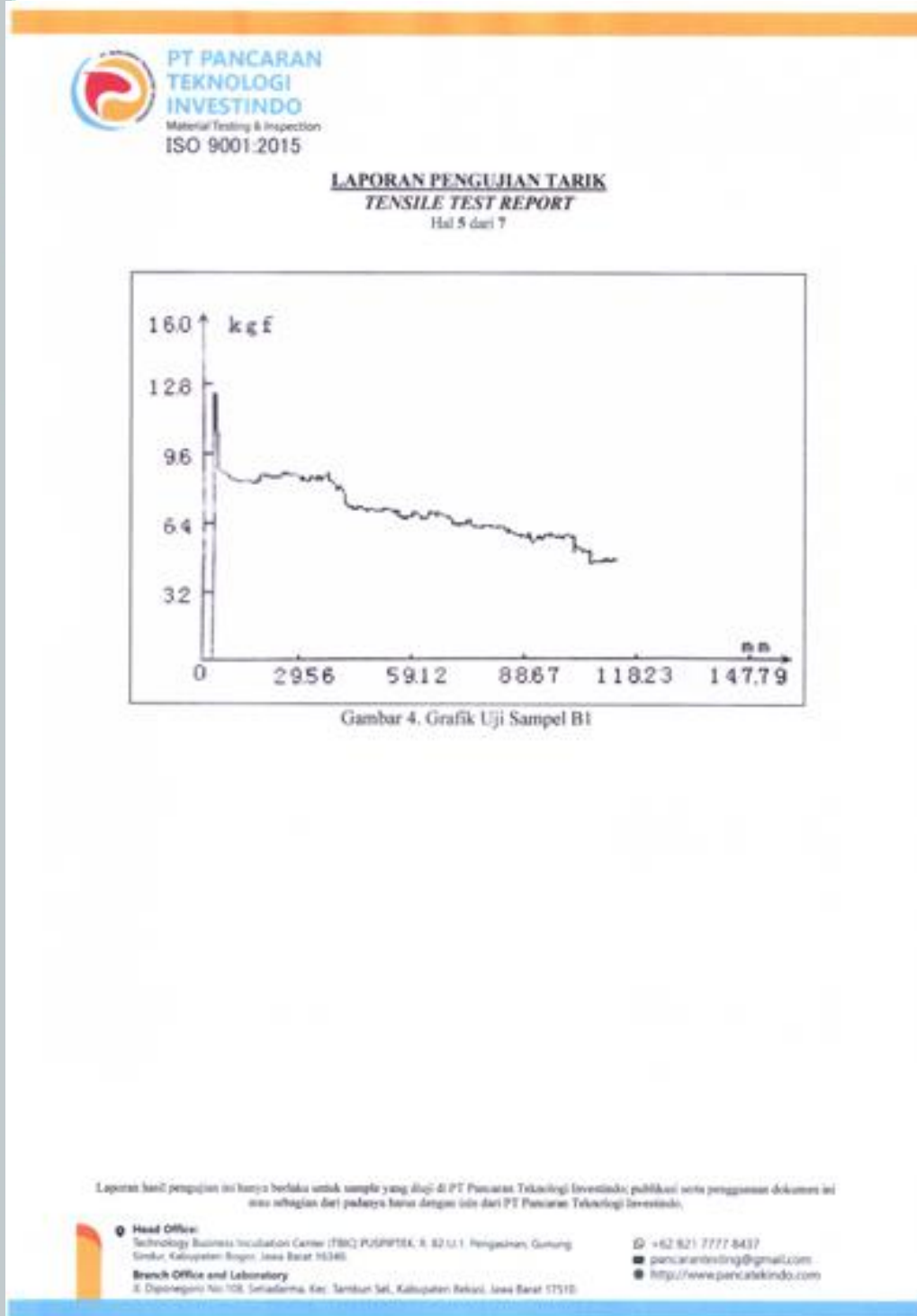
Lampiran 4 Hasil Uji Tarik Kode Sampel A3



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 Kode Sampel B1



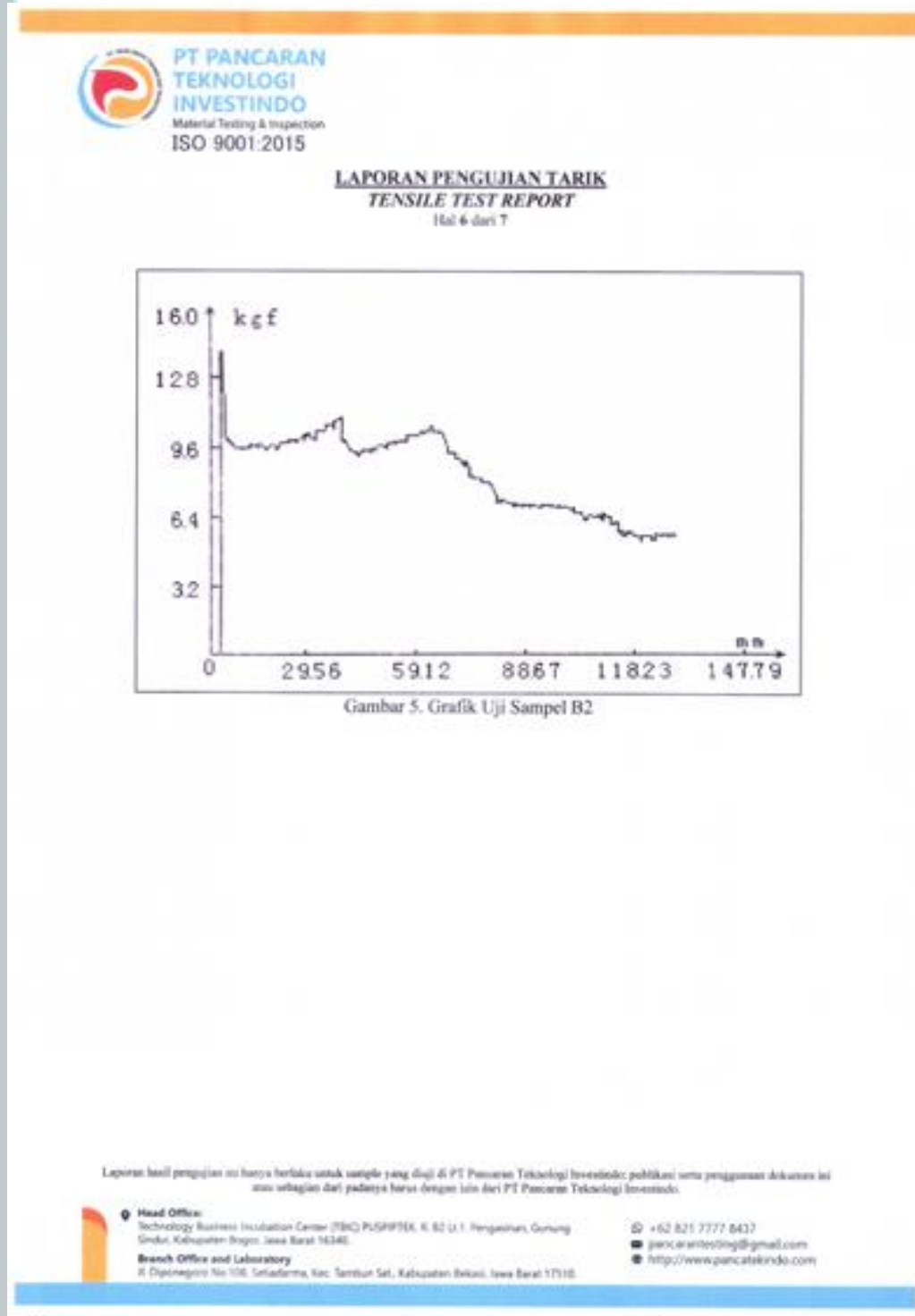


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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

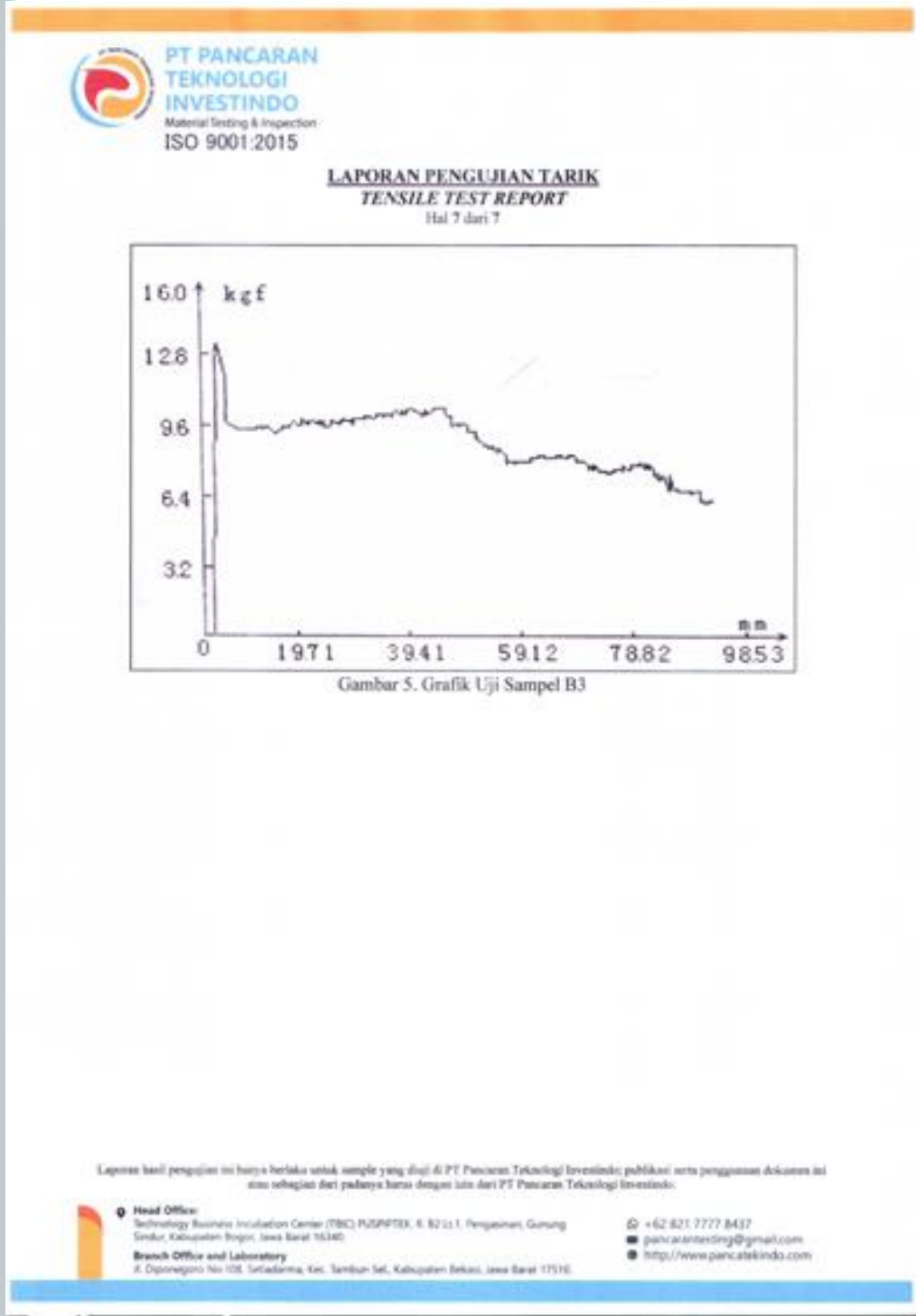
Lampiran 6 Hasil Uji Tarik Sampel Kode B2



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 Sampel Kode B3





© 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

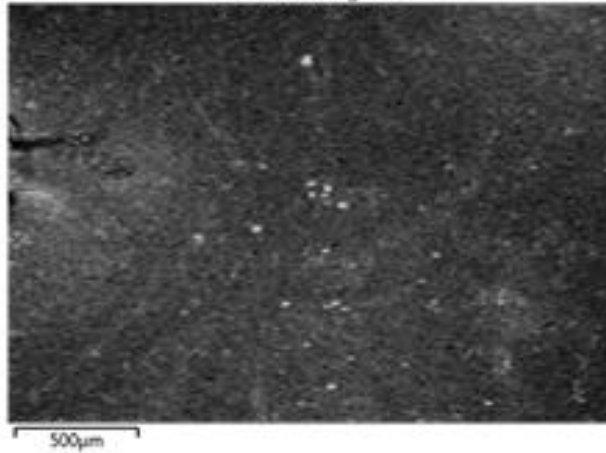
Lampiran 8 Hasil Uji SEM-EDS 1.1

Project 1

6/23/2026

6/17/2026 11:03:05 AM
Project 1
Specimen 30
Site 1

Electron Image 30

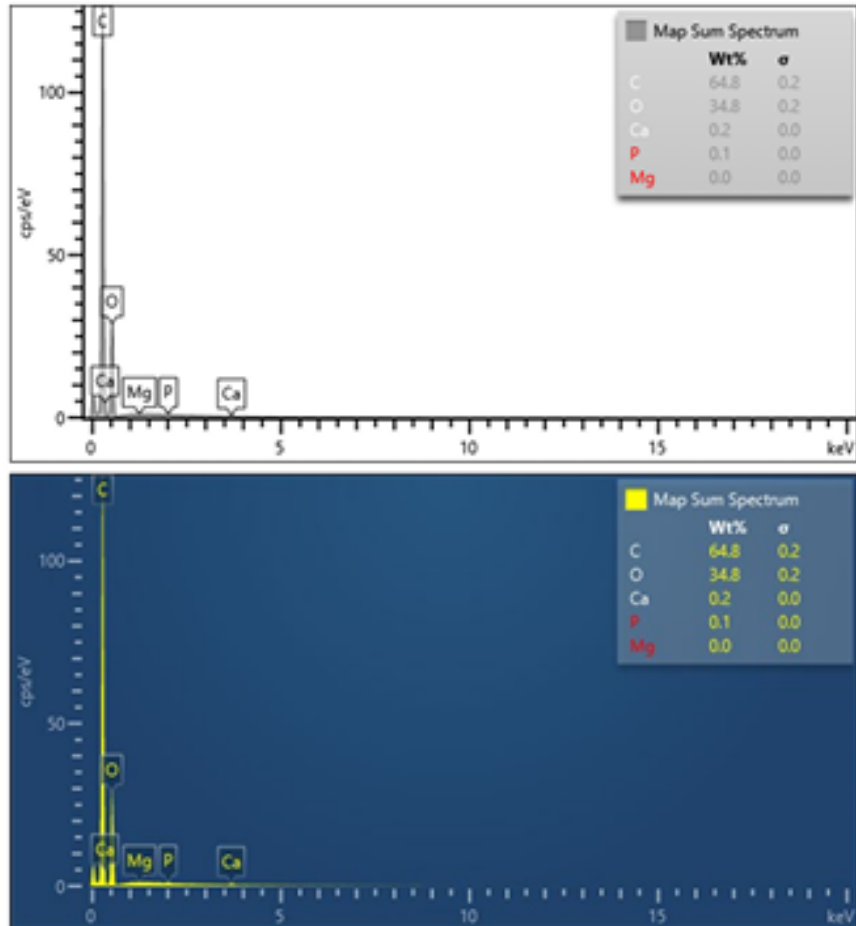


Hak Cipta :

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





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 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	169.99	1.69988	64.81	0.16	C Vit	Yes	
O	K series	86.95	0.29261	34.82	0.16	SiO2	Yes	
Mg	K series	0.09	0.00058	0.03	0.02	MgO	Yes	
P	K series	0.59	0.00329	0.11	0.02	GaP	Yes	
Ca	K series	0.82	0.00731	0.23	0.02	Wollastonite	Yes	
Total:				100.00				

General Information	
Label	Map Sum Spectrum
Acquisition Date	6/17/2026 11:03:05 AM
Acquisition Conditions	
Live Time (seconds)	39.5
Real Time (seconds)	48.7
Process Time	4
Energy Range (keV)	20
Number Of Channels	2048
Energy per Channel (eV)	10.0
Accelerating Voltage (kV)	15.0
Magnification	169.0
Working Distance (mm)	14.5
Specimen Tilt (degrees)	0.0
Spectrum Information	
Spectrum Area (counts)	584610.0
Spectrum Count Rate (cps)	11993.0
Pulse Pile Up Correction	Succeeded
Strobe Information	
Strobe Resolution (eV)	51.41
Strobe Area (counts)	722094.0
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



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

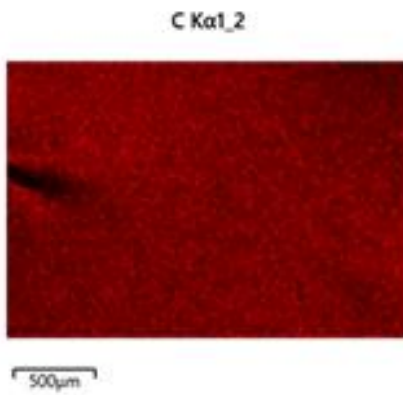
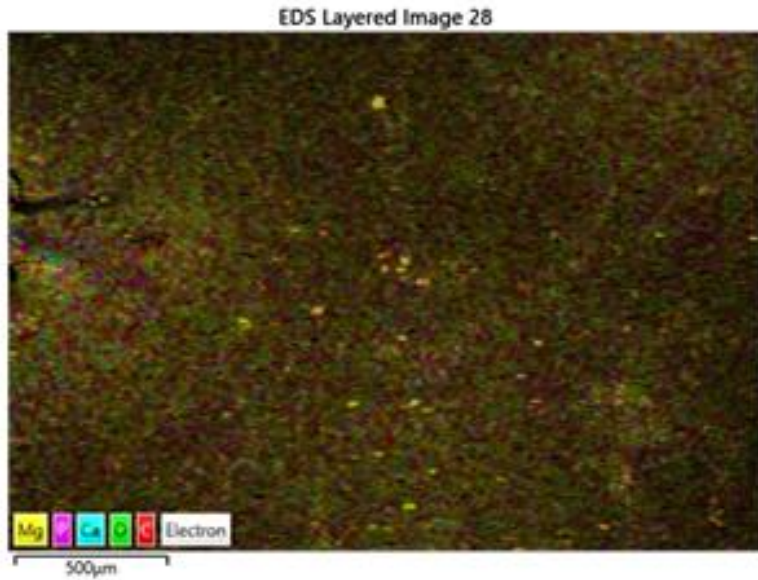
Live Time (seconds)	0.0
Quantification Mode	
Calibration Material	Unknown
System Configuration	
Detector Type	X-Act
Primary Detector	NA
Primary Detector Serial Number	84033
Window Type	SATW
Processor Type	XStream2
Azimuth (degrees)	0.0
Elevation (degrees)	35.0

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





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

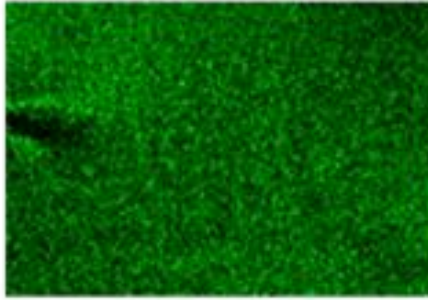
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan 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 13 Hasil Uji SEM-EDS 2.2

Project 1

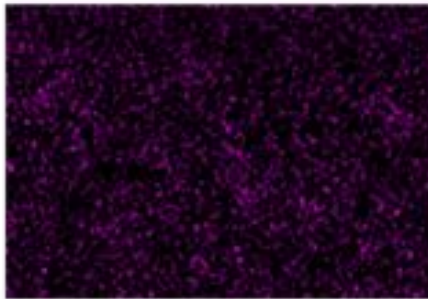
6/23/2026

O Ka1



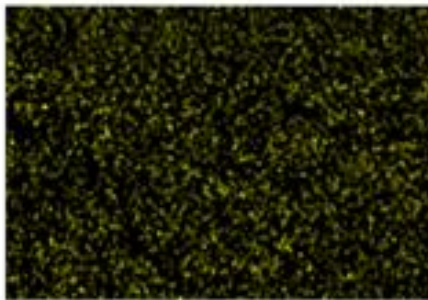
500µm

P Ka1



500µm

Mg Ka1_2



500µm

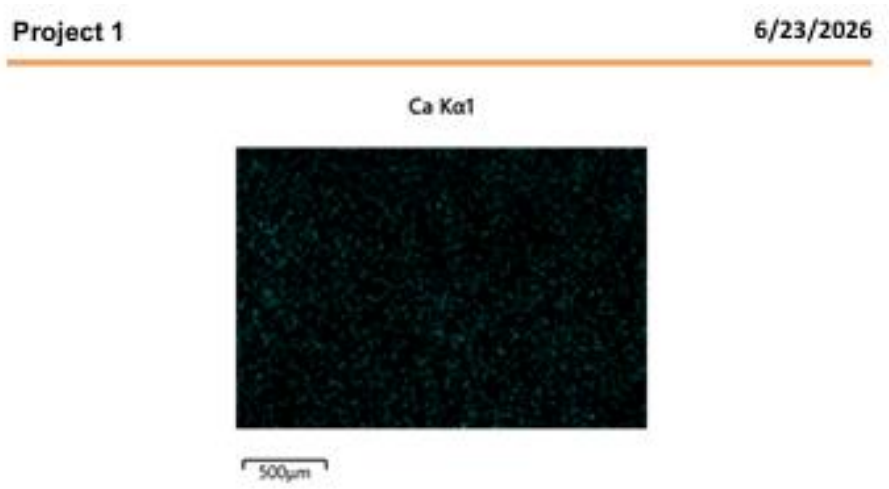


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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 14 Hasil Uji SEM-EDS 2.3



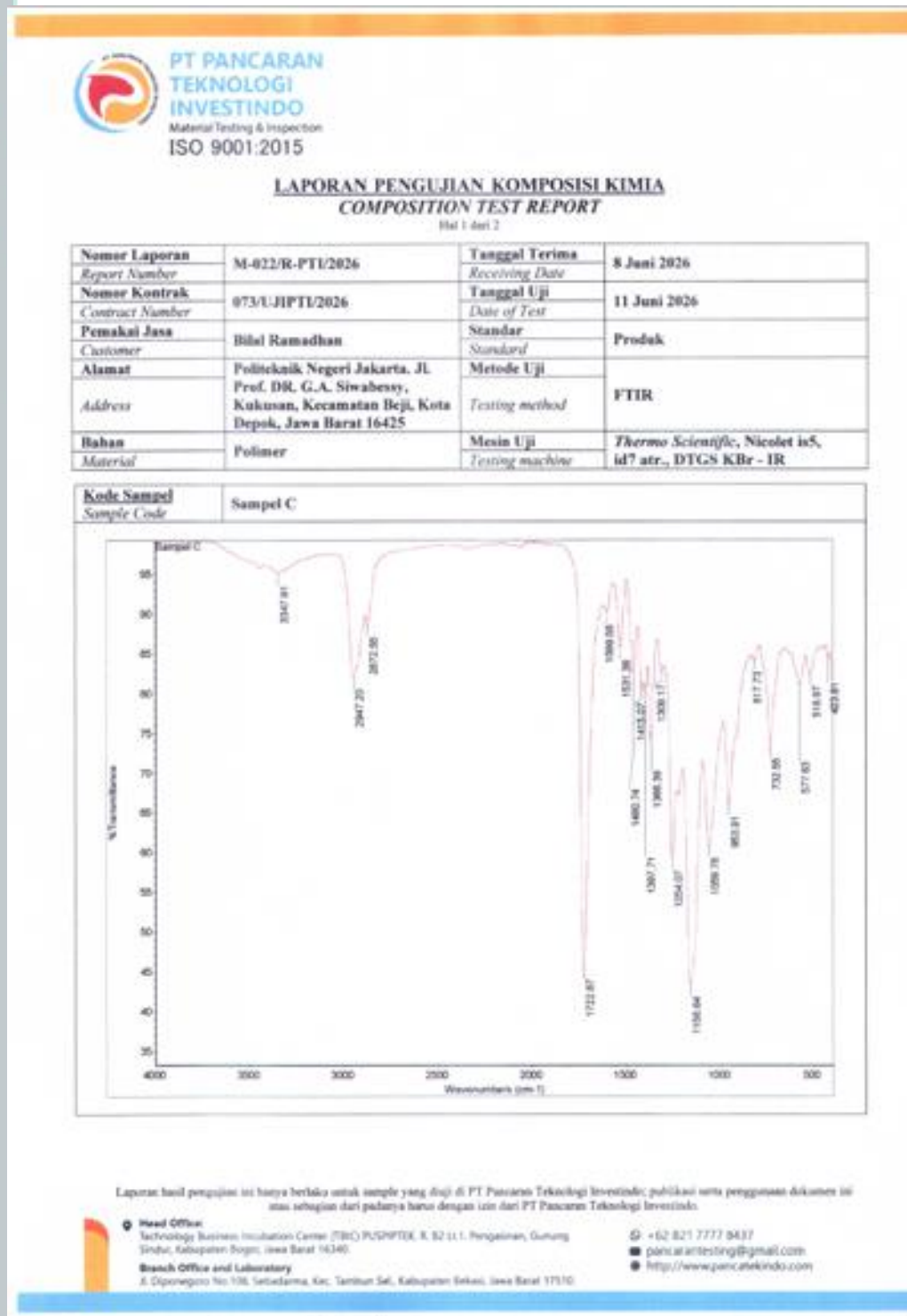


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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 15 Hasil Uji FTIR 1.1



Lampiran 16 Hasil Uji FTIR 1.2

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 milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 17 Dokumentasi Pengujian Tarik



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



Response Table for Signal to Noise Ratios

Smaller is better

Level	HA	Mg	Suhu ext
1	2,1251	0,2163	5,2699
2	3,2990	6,1388	6,2930
3	9,4178	8,4867	3,2790
Delta	7,2927	8,2703	3,0140
Rank	2	1	3

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
HA	2	92,00	92,00	46,000	1,72	0,368
Mg	2	108,99	108,99	54,493	2,03	0,330
Suhu ext	2	14,09	14,09	7,047	0,26	0,792
Residual Error	2	53,63	53,63	26,813		
Total	8	268,71				

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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta