



© 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



**ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI MATERIAL
PLA-ABS DAN *INFILL PATTERN* 3D PRINTING
PADA FABRIKASI PROTOTIPE ENGKEL
KAKI PROSTETIK**

SKRIPSI

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh :

**Nasywa Gaitsa Arwanjani
NIM. 2102411032**

**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



**ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI MATERIAL
PLA-ABS DAN *INFILL PATTERN* 3D PRINTING
PADA FABRIKASI PROTOTIPE ENGKEL
KAKI PROSTETIK**

SKRIPSI

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

Oleh :
Nasywa Gaitsa Arwanjani
NIM. 2102411032

**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



“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
SKRIPSI**

**ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI MATERIAL PLA-ABS DAN INFILL
PATTERN 3D PRINTING PADA FABRIKASI PROTOTIPE ENGKEL
KAKI PROSTETIK**

Oleh :
Nasywa Gaita Arwanjani
NIM. 2102411032

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Skrripsi 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



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**

**ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI MATERIAL PLA-ABS DAN *INFILL*
PATTERN 3D PRINTING PADA FABRIKASI PROTOTIPE ENGKEL
KAKI PROSTETIK**

Oleh :
Nasywa Gaitsa Arwanjani
NIM. 2102411032

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang Sarjana Terapan di hadapan Dewan
Penguji pada tanggal 22 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.	Vina Nanda Garjati, S.T., M.T. NIP. 199206232020122014	Anggota		31/07 2025
3.	Ifa Saidatuningtyas, S.Si., M.T. NIP. 198808272022032005	Anggota		31/07 2025

Depok, 31 Juli 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 PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nasywa Gaitsa Arwanjani
NIM : 2102411032
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 rujuki sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 22 Juli 2025

Nasywa Gaitsa Arwanjani
NIM. 2102411032



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

ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI MATERIAL PLA-ABS DAN INFILL PATTERN 3D PRINTING PADA FABRIKASI PROTOTIPE ENGKEL KAKI PROSTETIK

Nasywa Gaitsa Arwanjani¹⁾, Dhiya Luqyana¹⁾, dan Muslimin²⁾

¹⁾Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, 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: nasywa.gaitsa.arwanjani.tm21@mhs.w.pnj.ac.id

ABSTRAK

Kaki prostetik konvensional jenis *Solid Ankle Cushion Heel* (SACH) merupakan jenis kaki prostetik yang paling umum di Indonesia. Namun, jenis ini memiliki keterbatasan, seperti tidak memberikan sensasi berjalan yang natural. Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan kaki prostetik jenis *Energy Stock and Recovery* (ESR) sehingga dapat memberikan pengalaman berjalan natural karena mampu mengikuti siklus berjalan manusia (posisi *heel strike*, *mid stance*, dan *toe off*). Penggunaan 3D printing dapat menjadi solusi yang efektif dalam proses pembuatan kaki prostetik ESR, karena dapat dilakukan proses manufaktur yang mudah dalam kustomisasi produk untuk menyesuaikan kebutuhan pasien. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan prototipe engkel kaki prostetik ESR dengan mempertimbangkan perbandingan komposisi material PLA dan ABS (80% PLA : 20% ABS, 50% PLA : 50% ABS, 100% PLA, dan 100% ABS), serta variasi *infill pattern cubic*, *concentric*, dan *triangles* dengan penggunaan *infill density* 75%, terhadap kekuatan mekanik material untuk aplikasi prototipe engkel kaki prostetik dengan menggunakan metode *Design of Experimental* (DoE). Berdasarkan hasil pengujian tarik dengan standar ASTM D638 Type IV, didapatkan sampel B4, B3, dan A3 merupakan tiga sampel terbaik uji tarik dengan masing-masing nilai *tensile stress* sebesar 39.5 MPa, 33.8 MPa, dan 33.4 MPa. Sedangkan, berdasarkan hasil pengujian lentur dengan standar ASTM D790, didapatkan tiga sampel terbaik, yaitu sampel B3, A3, dan B4 dengan masing-masing nilai *flexural stress* sebesar 61.2 MPa, 52.0 MPa, dan 49.3 MPa. Oleh karena itu, komposisi material dan *infill pattern* yang terpilih untuk pembuatan prototipe engkel kaki prostetik yaitu sampel B3 dengan komposisi material 100% PLA dan *infill pattern concentric*.

Kata-kata kunci: PLA, ABS, *Infill Pattern*, 3D Printing, Engkel Kaki Prostetik, 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

ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI MATERIAL PLA-ABS DAN INFILL PATTERN 3D PRINTING PADA FABRIKASI PROTOTIPE ENGKEL KAKI PROSTETIK

Nasywa Gaitsa Arwanjani¹⁾, Dhiya Luqyana¹⁾, dan Muslimin²⁾

¹⁾Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, 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: nasywa.gaitsa.arwanjani.tm21@mhs.w.pnj.ac.id

ABSTRACT

The Solid Ankle Cushion Heel (SACH) is the most common conventional prosthetic foot type in Indonesia. However, this type has limitations, such as not providing a natural walking sensation. Therefore, there is a need to develop an Energy Stock and Recovery (ESR) type prosthetic foot so that it can provide a natural walking experience because it can follow the human walking cycle (heel strike, mid stance, and toe off position). The use of 3D printing can be an effective solution in the process of making ESR prosthetic legs, as it enables easy customization of products to suit patient needs through a straightforward manufacturing process. The purpose of this research is to develop a prototype of ESR prosthetic ankle by considering the material composition ratio of PLA and ABS (80% PLA: 20% ABS, 50% PLA: 50% ABS, 100% PLA, and 100% ABS), as well as variations of infill patterns cubic, concentric, and triangles with the use of 75% infill density, on the mechanical strength of the material for the application of prosthetic ankle prototypes using the Design of Experimental (DoE) method. Based on the results of tensile testing using the ASTM D638 Type IV standard, samples B4, B3, and A3 are the three best samples, with tensile stress values of 39.5 MPa, 33.8 MPa, and 33.4 MPa, respectively. Meanwhile, based on the results of flexural testing according to ASTM D790 standards, the three best samples were obtained, namely samples B3, A3, and B4, with flexural stress values of 61.2 MPa, 52.0 MPa, and 49.3 MPa, respectively. Therefore, the material composition and infill pattern selected for the prosthetic ankle prototype are sample B3 with a 100% PLA material composition and a concentric infill pattern.

Kata-kata kunci: PLA, ABS, Infill Pattern, 3D Printing, Engkel Kaki Prostetik, 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

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI MATERIAL PLA-ABS DAN *INFILL PATTERN* 3D *PRINTING* PADA FABRIKASI PROTOTIPE ENGKEL KAKI PROSTETIK”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi sarjana terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

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

1. Bapak Dr. Eng. Ir Muslimin, S.T., M.T., IWE. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta dan dosen pembimbing satu yang telah memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak M. Prasha Risfi Silitonga, M.T. selaku Ketua Program Studi Manufaktur Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan bantuan dalam mengarahkan dalam pelaksanaan skripsi ini.
3. Ibu Dhiya Luqyana, S.Tr.T., M.T. selaku dosen pembimbing dua yang telah memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Kedua orang tua saya, yang telah memberikan doa, dukungan, motivasi, nasihat, dan kasih sayang tiada henti kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
5. Bayyinah Fatikah Azani yang selalu kebersamai penulis dari semester awal hingga semester akhir perkuliahan, yang selalu membantu, mendukung, dan menemani penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
6. Rekan-rekan Lab. Pengembangan Produk yang telah memberikan bantuan dan saran kepada penulis selama proses eksperimen berlangsung.
7. Rekan-rekan Program Studi Manufaktur yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam proses penyelesaian skripsi.



© 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

Penulis menyadari skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan karena keterbatasan kemampuan dan ilmu yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis memohon maaf atas kesalahan dan kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak terutama pada bidang manufaktur.

Depok, 11 Juli 2025

Nasywa Gaitsa Arwanjani

NIM.2102411032





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 ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2. Rumusan Masalah Penelitian	4
1.3. Pertanyaan Penelitian	5
1.4. Tujuan Penelitian.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	6
1.6. Batasan Masalah	6
1.7. Sistematika Penulisan Laporan Skripsi	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1. Landasan Teori	8
2.1.1. Material Komposit	8
2.1.2. Material <i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i> (ABS)	8
2.1.3. Material <i>Poly-Lactic Acid</i> (PLA)	9
2.1.4. Mesin Ekstruder	9



Hak Cipta :

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

2.1.5.	Mesin 3D Printing	10
2.1.7.	Fused Deposition Modeling (FDM).....	11
2.1.8.	Filamen 3D Printing	12
2.1.9.	Infill Pattern	12
2.1.10.	Infill Density.....	14
2.1.11.	Amputasi Kaki	15
2.1.12.	Alat Kaki Prostetik.....	17
2.1.13.	Solid Ankle Cushion Heel (SACH)	18
2.1.14.	Energy Stock and Recovery (ESR).....	18
2.1.15.	Siklus Berjalan Manusia	19
2.1.16.	Pengujian Tarik	20
2.1.17.	Pengujian Lentur	23
2.1.18.	Finite Element Analysis (FEA)	24
2.1.19.	Metode Design of Experiment (DoE).....	24
2.2.	Kajian Literatur	25
BAB III	METODE PENELITIAN	36
3.1.	Jenis Penelitian	36
3.2.	Objek Penelitian	36
3.3.	Variabel Penelitian	36
3.3.1.	Variabel Bebas	36
3.3.2.	Variabel Terikat	37
3.3.3.	Variabel Kontrol.....	37
3.4.	Metode Pengambilan sampel.....	37
3.5.	Jenis dan Sumber Data Penelitian	38
3.6.	Metode Pengumpulan Data Penelitian	38
3.7.	Metode Analisis Data	38
3.8.	Flowchart Penelitian	39
3.8.1.	Penjelasan Flowchart Penelitian	40
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1.	Hasil Pembuatan Filamen 3D Printing.....	51
4.2.	Hasil Pengujian Tarik Filamen 3D Printing.....	53



Hak Cipta :

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

4.2.1. Analisis Hasil Pengujian Tarik Filamen Berdasarkan Komposisi Material PLA-ABS	54
4.3. Hasil Pembuatan Spesimen Uji	55
4.4. Hasil Pengujian Tarik Spesimen	58
4.4.1. Analisis Hasil Pengujian Tarik Spesimen Berdasarkan Komposisi Material PLA-ABS dan Variasi <i>Infill Pattern</i>	60
4.5. Hasil Pengujian Lentur Spesimen	61
4.5.1. Analisis Hasil Pengujian Lentur Spesimen Berdasarkan Komposisi Material PLA-ABS dan Variasi <i>Infill Pattern</i>	63
4.6. Penentuan Komposisi Material dan <i>Infill Pattern</i> untuk Pembuatan Prototipe Engkel kaki Prostetik	64
4.7. Hasil Simulasi FEA Desain Prototipe	66
4.7.1. Simulasi FEA Posisi <i>Heel Strike</i>	66
4.7.2. Simulasi FEA Posisi <i>Mid Stance</i>	68
4.7.3. Simulasi FEA Posisi <i>Toe Off</i>	70
4.8. Hasil Pembuatan Prototipe	72
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	74
5.1. Kesimpulan	74
5.2. Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	84



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 2. 1. Mesin Ekstruder	10
Gambar 2. 2. Mesin 3D Printing	11
Gambar 2. 3. Proses Pencetakan 3D Printing FDM	12
Gambar 2. 4. Filamen 3D Printing	12
Gambar 2. 5. <i>Infill Pattern Concentric</i>	13
Gambar 2. 6. <i>Infill Pattern Cubic</i>	14
Gambar 2. 7. <i>Infill Pattern Triangle</i>	14
Gambar 2. 8. <i>Infill Density</i>	15
Gambar 2. 9. Amputasi Transmetatarsal	16
Gambar 2. 10. Amputasi Transtibial	16
Gambar 2. 11. Amputasi Lutut	17
Gambar 2. 12. Amputasi Transfemoral	17
Gambar 2. 13. Kaki Palsu SACH	18
Gambar 2. 14. Kaki Palsu ESR	19
Gambar 2. 15. Siklus Berjalan Manusia	20
Gambar 2. 16. Gambar Kurva Tegangan – Regangan	21
Gambar 2. 17. Standar Pengujian Tarik ASTM D638	21
Gambar 2. 18. Standar Pengujian Lentur ASTM D790	23
Gambar 3. 1. <i>Flowchart</i> Penelitian	39
Gambar 3. 2. Material PLA	41
Gambar 3. 3. Material ABS	41
Gambar 3. 4. <i>Wellzoom Desktop Filament Extruder Machine</i>	42
Gambar 3. 5. Mesin 3D Printer Creality Ender 3 V3 KE	43
Gambar 3. 6. Desain Prototipe Engkel Kaki Prostetik	49
Gambar 4. 1. Ketidakhomogenan Material PLA-ABS	52
Gambar 4. 2. Grafik <i>Tensile Stress</i> Filamen	54
Gambar 4. 3. <i>Warping</i> pada Spesimen	57
Gambar 4. 4. <i>Clogging</i> pada Spesimen	58
Gambar 4. 5. Grafik <i>Tensile Stress</i> Spesimen	60



© 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

Gambar 4. 6. Grafik *Flexural Stress* Spesimen 63

Gambar 4. 7. Hasil Prototipe Engkel Kaki Prostetik 73





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>Mechanical Properties</i> Material ABS	9
Tabel 2. 2. <i>Mechanical Properties</i> Material PLA	9
Tabel 2. 3 Kajian Literatur Penelitian	26
Tabel 3. 1. Sampel Penelitian	37
Tabel 3. 2. Spesifikasi <i>Wellzoom Desktop Filament Extruder</i>	42
Tabel 3. 3. Spesifikasi Mesin 3D Printer Creality Ender 3 V3 KE	43
Tabel 3. 4. Alat Bantu Penelitian	44
Tabel 3. 5. Tahapan Proses Pembuatan Filamen 3D <i>Printing</i>	45
Tabel 3. 6. Tahapan Proses Spesimen dengan 3D <i>Printing</i>	47
Tabel 4. 1. Hasil Pembuatan Filamen 3D <i>Printing</i>	51
Tabel 4. 2. Hasil Pengujian Tarik Filamen 3D <i>Printing</i>	53
Tabel 4. 3. Hasil Pembuatan Spesimen Uji	55
Tabel 4. 4. Hasil Pengujian Tarik Spesimen	58
Tabel 4. 5. Hasil Pengujian Lentur Spesimen	61
Tabel 4. 6. Perbandingan Hasil Uji	65
Tabel 4. 7. Karakteristik Material Kode Sampel B3	66
Tabel 4. 8. Hasil Simulasi FEA Posisi <i>Heel Strike</i>	67
Tabel 4. 9. Hasil Simulasi FEA Posisi <i>Mid Stance</i>	69
Tabel 4. 10. Hasil Simulasi FEA Posisi <i>Toe Off</i>	71



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. Grafik Uji Tarik Filamen Sampel F2.1.....	84
Lampiran 2. Grafik Uji Tarik Filamen Sampel F2.2.....	85
Lampiran 3. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel A2	86
Lampiran 4. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel A3	87
Lampiran 5. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel A4	88
Lampiran 6. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel B2.....	89
Lampiran 7. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel B3.....	90
Lampiran 8. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel B4.....	91
Lampiran 9. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel C2.....	92
Lampiran 10. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel C3.....	93
Lampiran 11. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel C4.....	94
Lampiran 12. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel A2.....	95
Lampiran 13. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel A3.....	96
Lampiran 14. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel A4.....	97
Lampiran 15. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel B2.....	98
Lampiran 16. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel B3.....	99
Lampiran 17. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel B4.....	100
Lampiran 18. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel C2.....	101
Lampiran 19. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel C3.....	102
Lampiran 20. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel C4.....	103



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 NOTASI

P	= Beban maksimum	(N)
F	= Gaya	(N)
L	= Jarak tumpuan	(mm)
b	= Lebar spesimen	(mm)
A	= Luas penampang spesimen	(mm ²)
E	= Modulus Elastisitas	(GPa)
l_o	= Panjang awal	(mm)
l_i	= Panjang setelah pengujian tarik	(mm)
Δl	= Pertambahan panjang akibat beban tarik	(mm)
ε	= Regangan	(%)
d	= Tebal spesimen	(mm)
σ_f	= Tegangan lentur	(MPa)
σ	= Tegangan tarik	(MPa)

**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 Penelitian

Penggunaan plastik sebagai bahan baku utama dalam pembuatan produk semakin populer, menggantikan penggunaan material konvensional seperti kaca, kayu, dan logam. Hal tersebut dapat terjadi karena plastik memiliki sifat yang ringan, kuat, dan lebih mudah dibentuk, serta memiliki sifat anti karat [1]. Teknik dalam pembuatan material plastik dapat disesuaikan dengan bentuk produk, ukuran produk, dan fungsi produk. Proses pembentukan plastik, untuk membentuk produk akhir dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti *molding*, *extrusion*, *thermoforming*, dan *3D printing* [2].

Penggunaan teknologi *3D printing* memiliki keuntungan dapat membuat produk dengan bentuk kompleks yang sulit dilakukan dengan metode manufaktur konvensional, mempercepat waktu produksi, mengurangi berat produk, dan fleksibel dalam kustomisasi produk, sehingga dapat menyesuaikan kebutuhan komponen dengan spesifikasi tertentu [3]. Proses pembuatan produk dengan *3D printing* dapat dilakukan dalam satu kali langkah, tanpa perlu pemotongan atau proses tambahan, dapat membentuk produk dengan presisi tinggi, serta fleksibel dalam pemilihan material [4]. Penggunaan teknologi tersebut sudah meluas di berbagai bidang industri, salah satunya industri kesehatan sebagai pembuatan prostetik yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan pasien.

Prostetik adalah ilmu yang mempelajari tentang pemeriksaan, pengukuran, hingga pembuatan alat ganti anggota gerak tubuh yang hilang, seperti tangan, kaki, dan anggota tubuh lainnya [5]. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2020 di Indonesia terdapat 1.868.640 penyandang cacat kehilangan anggota gerak tubuhnya atau biasa disebut sebagai tunadaksa. Besarnya angka warga tunadaksa meningkatkan permintaan alat gerak bantu, salah satunya adalah kaki prostetik [6]. Jenis kaki prostetik yang umum di Indonesia adalah kaki prostetik jenis *Solid Ankle Cushion Heel* (SACH) atau lebih sering disebut kaki prostetik konvensional. Jenis kaki prostetik tersebut terbuat



© 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

dari material plastik yang keras dan kaku, sehingga memiliki kekurangan terkait penggunaan dan mobilitas, seperti hanya dapat digunakan pada tingkat aktivitas rendah seperti berdiri dan berjalan, tidak memiliki gerakan menekuk pada pergelangan kaki dan ujung kaki, serta tidak memberikan sensasi berjalan natural seperti orang normal atau berjalan dengan terpinang-pincang [7].

Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan kaki prostetik jenis *Energy Stock and Recovery* (ESR) yang dapat dibuat dari material plastik yang kuat namun lentur sehingga dapat memberikan pengalaman berjalan natural tanpa terpinang-pincang seperti orang normal, dapat digunakan pada tingkat aktivitas sedang seperti berlari dan melompat kecil, serta mudah digunakan karena mampu mengikuti siklus berjalan manusia (posisi *heel strike*, *midstance*, dan *toe-off*) [8], dan lebih ringan dibandingkan kaki prostetik konvensional [9]. Proses pengembangan kaki prostetik jenis ESR dapat dilakukan dengan metode *Design of Experiment* (DoE), sebuah prosedur yang digunakan selama dilakukannya kegiatan eksperimen [10]. Pada kegiatan eksperimen pengembangan kaki prostetik jenis *Energy Stock and Recovery* (ESR), pembuatan prostetik dapat dilakukan dengan Proses *3D printing* menggunakan material ABS yang memiliki sifat tangguh, kaku, serta tahan terhadap bahan kimia dan panas. Proses tersebut juga menggunakan material PLA yang merupakan biopolimer yang terbuat dari jagung dan tebu, memiliki sifat ulet, kaku, dan material yang dapat terurai secara alami atau biasa disebut material *biodegradable* [11].

Berdasarkan penelitian tentang alat engkel kaki prostetik yang sudah pernah dilakukan sebelumnya, didapatkan ada yang bentuknya seperti kaki manusia [12], ada yang menggunakan pegas untuk mengurangi usaha atau mempermudah selama berjalan [13]. Ada yang dapat menahan beban hingga 75 kg dan dapat digunakan untuk olahraga ringan [9], ada yang fokus pada tiga siklus berjalan yaitu posisi *heel strike*, *midstance*, dan *toe-off* [14]. Ada juga yang fokus pada penurunan biaya produksi dengan memanfaatkan material PVC [15]. Sebagian besar penelitian menggunakan material PLA atau ABS untuk membuat *3D printing* engkel kaki prostetik [16][17][18][19]. Namun dari penelitian 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

disebutkan diatas, beberapa penelitian masih memiliki kekurangan seperti model yang terlalu kompleks, berat, serta kurangnya penjelasan tentang *infill pattern* dan *infill density*.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang membahas terkait pengaruh *infill pattern* yang dilakukan oleh Muhammad Farhan (2024), didapatkan nilai pengujian tarik terbaik ditemukan pada *infill pattern concentric* 75% dengan rata-rata *tensile strength* sebesar 15.24 MPa, nilai *max strain* sebesar 2.84%, dan *modulus elastic* sebesar 980.14 MPa [20]. Penelitian lainnya dengan topik terkait dilakukan oleh Samuel Eluzai Yedija Wijayanto, *et al.* (2022), penelitian menggunakan spesimen uji tekan dengan *infill density* 50% dan berukuran $12.70\text{ mm} \times 25.40\text{ mm} \times 12.70\text{ mm}$ untuk membandingkan material yang digunakan tiap jenis *infill pattern*. Didapatkan nilai pengujian tekan terbaik ditemukan pada *infill pattern cubic* dengan nilai rata-rata kekuatan tekan sebesar 21.33 MPa, dengan panjang filamen yang dibutuhkan sebanyak 1137 mm, dan rasio kekuatan tekan terhadap panjang filamen sebesar 0.01876 [21]. Penelitian topik terkait juga dilakukan oleh Faradila Dwi Mahesa, *et al.* (2024), didapatkan nilai pengujian tarik tertinggi ditemukan pada *infill pattern triangles* 90% dengan nilai *tensile strength* sebesar 34.3 MPa [22].

Berdasarkan penelitian terdahulu yang membahas terkait pengaruh komposisi material PLA dan ABS yang dilakukan oleh Dhinesh S.K., *et al.* (2020), didapatkan nilai pengujian tarik terbaik ditemukan pada spesimen dengan komposisi 20% ABS : 80% PLA dengan *ultimate tensile strength* sebesar 21.4 MPa, *maximum load* sebesar 1.18 kN, dan *breaking load* sebesar 1.07 kN. Pada nilai pengujian lentur terbaik ditemukan pada spesimen dengan komposisi 100% ABS dengan *maximum load* sebesar 34.89 N dan *maximum stress* 19.24 MPa [23]. Penelitian lainnya dengan topik terkait dilakukan oleh Shabana, *et al.* (2020), didapatkan nilai pengujian tarik terbaik ditemukan pada spesimen dengan komposisi 100% PLA dengan *ultimate tensile strength* sebesar 20.3 MPa, *maximum load* sebesar 1.18 kN, dan *breaking load* sebesar 0.98 kN. Pada nilai pengujian tekan terbaik ditemukan pada spesimen dengan komposisi 100% PLA

**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

dengan nilai kekuatan tekan sebesar 33.93 MPa dan *maximum load* sebesar 5.22 kN. Pada nilai pengujian lentur terbaik ditemukan pada spesimen dengan komposisi 100% ABS dengan *maximum load* sebesar 84.98 N dan *maximum stress* 47.22 MPa [11]. Penelitian topik terkait juga dilakukan oleh Mahros Darsins, *et al.* (2024), didapatkan nilai pengujian lentur terbaik ditemukan pada spesimen dengan komposisi 50% ABS : 50% PLA dengan nilai kekuatan lentur sebesar 33.12 MPa [24].

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengembangkan prototipe engkel kaki prostetik jenis *Energy Stock and Recovery* (ESR), serta melakukan analisis kekuatan material dan desain prototipe engkel kaki prostetik. Fokus penelitian ini adalah untuk membandingkan komposisi material PLA dan ABS terhadap kekuatan mekanik sebagai aplikasi prototipe engkel kaki prostetik, dan penggunaan *infill density* 75%, serta variasi *infill pattern cubic, concentric*, dan *triangles*, yang akan berpengaruh pada kekuatan mekanik prototipe engkel kaki prostetik. Penelitian ini diharapkan dapat membantu mengembangkan teknologi *3D printing* yang berkelanjutan pada bidang kesehatan terutama untuk alat prostetik.

1.2. Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah disampaikan, maka didapatkan rumusan masalah penelitian adalah berapa persentase komposisi material PLA-ABS yang ideal terhadap performa hasil *3D printing* untuk pembuatan prototipe engkel kaki prostetik. Bagaimana pengaruh variasi *infill pattern cubic, concentric*, dan *triangles* dengan penggunaan *infill density* 75% terhadap performa hasil *3D printing* untuk pembuatan prototipe engkel kaki prostetik. Bagaimana hasil simulasi FEA desain prototipe engkel kaki prostetik dengan komposisi material PLA-ABS dan variasi *infill pattern* terpilih terhadap beban 50 kg – 100 kg.



Hak Cipta :

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

1.3. Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah disampaikan, maka didapatkan pertanyaan penelitian, sebagai berikut:

1. Berapa persentase komposisi material PLA dan ABS yang dapat mempengaruhi performa hasil 3D *printing* untuk pembuatan prototipe engkel kaki prostetik?
2. Apa variasi *infill pattern cubic*, *concentric*, dan *triangles* dengan penggunaan *infill density* 75% yang dapat mempengaruhi performa hasil 3D *printing* untuk pembuatan prototipe engkel kaki prostetik?
3. Apakah desain prototipe engkel kaki prostetik dengan komposisi material PLA-ABS dan *infill pattern* terpilih mampu menahan beban 50 kg – 100 kg berdasarkan simulasi FEA?

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah penelitian yang telah disampaikan, maka didapatkan tujuan dilakukannya penelitian, sebagai berikut:

1. Mengetahui dan menganalisis performa hasil 3D *printing* dari berbagai persentase komposisi material PLA dan ABS untuk menentukan komposisi yang ideal dalam pembuatan prototipe engkel kaki prostetik.
2. Menganalisis perbandingan performa hasil 3D *printing* dari berbagai variasi *infill pattern cubic*, *concentric*, dan *triangles* dengan penggunaan *infill density* 75% untuk menentukan variasi yang ideal dalam pembuatan prototipe engkel kaki prostetik dengan metode *Design of Experiment (DoE)*.
3. Mengetahui hasil simulasi FEA pada desain prototipe engkel kaki prostetik dengan komposisi material PLA-ABS dan *infill pattern* terpilih dengan beban 50 kg – 100 kg.



Hak Cipta :

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

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapatkan dari penelitian, yaitu:

1. Menghasilkan prototipe engkel kaki prostetik yang cepat dalam produksi dan mudah dalam kostumisasi.
2. Menghasilkan prototipe engkel kaki prostetik yang kuat dan lentur agar dapat digunakan lebih lanjut pada bidang kesehatan.

1.6. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian, yaitu:

1. Penelitian hanya fokus pada variasi *infill pattern* serta material PLA dan ABS dengan komposisi yang sudah ditentukan.
2. Pembuatan filamen menggunakan mesin *single screw extruder*.
3. Pembuatan filamen tidak menggunakan penggulung otomatis.
4. Proses pencampuran material PLA dan ABS tidak menggunakan *coupling agent*.
5. Simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) pada desain prototipe engkel kaki prostetik menggunakan pembebanan 50 kg – 100 kg.

1.7. Sistematika Penulisan Laporan Skripsi

Sistematika penulisan dalam laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

Menjelaskan latar belakang penulisan, perumusan masalah penulisan, tujuan penulisan, manfaat penulisan, dan sistematika penulisan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan rangkuman kritis atas kajian literatur yang berkaitan dengan penelitian skripsi, serta menjelaskan lebih lanjut landasan teori mengenai material plastik, mesin 3D *printing*, dan kaki prostetik yang dapat menunjang penelitian skripsi.



© 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

3. BAB III METODE PENELITIAN

Menjelaskan metode yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi meliputi diagram alir penelitian, kegiatan penelitian berdasarkan tahapan metode *Design of Experiment* (DoE), dan pemecahan masalah secara deskriptif.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan hasil dan pembahasan dari analisis pengujian spesimen, perhitungan prototipe, dan desain prototipe.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Memaparkan kesimpulan hasil penelitian yang dilakukan, serta saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lanjutan.



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 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai analisis pengaruh komposisi material PLA-ABS dan *infill pattern* 3D *printing* pada fabrikasi prototipe engkel kaki prostetik, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Persentase komposisi material PLA dan ABS menunjukkan perbedaan yang signifikan pada nilai uji tarik dan uji lentur. Pada uji tarik filamen, nilai kekuatan tarik tertinggi hingga terendah secara berurutan ditemukan pada sampel F4 (100% ABS), sampel F3 (100% PLA), dan sampel F2 (50% PLA : 50% ABS). Pada uji tarik spesimen, nilai kekuatan tarik tertinggi hingga terendah secara berurutan didapatkan oleh sampel B4 (100% ABS, *Concentric*), sampel B3 (100% PLA, *Concentric*), dan sampel A3 (100% PLA, *Cubic*). Pada uji lentur spesimen, nilai kekuatan lentur tertinggi hingga terendah secara berurutan didapatkan pada sampel B3 (100% PLA, *Concentric*), sampel A3 (100% PLA, *Cubic*), dan sampel B4 (100% ABS, *Concentric*). Berdasarkan hasil pengujian, komposisi material 100% ABS lebih unggul pada pengujian tarik tetapi lemah pada pengujian lentur. Sedangkan, komposisi 100% PLA lebih unggul pada pengujian lentur dan lumayan unggul pada pengujian tarik. Pada komposisi material 50% PLA : 50% ABS, hasil pengujian tarik dan pengujian lentur memiliki nilai yang rendah berada dibawah komposisi material 100% ABS dan 100% PLA. Hal tersebut membuktikan bahwa kekuatan tarik dan kekuatan lentur material murni lebih unggul dibandingkan material campuran. Komposisi material 100% PLA merupakan komposisi yang ideal dalam pembuatan prototipe engkel kaki prostetik yang membutuhkan keuletan dan kelenturan, karena komposisi material tersebut unggul pada pengujian tarik dan pengujian lentur.
2. Variasi *infill pattern cubic*, *concentric*, dan *triangles* dengan *infill density* 75% menunjukkan pengaruh yang signifikan pada nilai uji tarik dan uji



© 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

lentur. Pada uji tarik spesimen, *infill pattern* dengan nilai kekuatan tarik tertinggi hingga terendah secara berurutan didapatkan pada *infill pattern concentric* (sampel B4), *cubic* (sampel A3), dan *triangles* (sampel C4). Pada uji lentur spesimen, nilai kekuatan lentur tertinggi hingga terendah secara berurutan didapatkan oleh *infill pattern concentric* (sampel B3), *cubic* (sampel A3), dan *triangles* (sampel C3). Berdasarkan hasil pengujian, *infill pattern concentric* lebih unggul pada pengujian tarik dan pengujian lentur. Sedangkan, *infill pattern* dengan hasil pengujian terendah ditemukan pada *infill pattern triangles*. Hal tersebut membuktikan bahwa pola pengisian (*infill pattern*) dapat mempengaruhi kekuatan material. *Infill pattern concentric* merupakan *infill pattern* yang ideal dalam pembuatan prototipe engkel kaki prostetik karena mampu menahan beban tarik dan beban lentur dengan baik.

3. Simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) pada desain prototipe engkel kaki prostetik dilakukan dengan kode sampel terpilih yaitu sampel B3 (100% PLA, *Concentric*). Hasil simulasi FEA menunjukkan bahwa desain mampu menahan beban 50 kg – 100 kg mengikuti siklus berjalan manusia pada posisi *heel strike*, *mid stance*, dan *toe off*. Berdasarkan hasil simulasi FEA, nilai *maximum stress* tertinggi hingga terendah secara berurutan ditemukan pada posisi *toe off*, *heel strike*, dan *mid stance*. Namun, nilai *maximum stress* tertinggi dapat dikategorikan aman karena posisi kritis terletak di permukaan bawah prototipe engkel kaki prostetik.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan mengenai penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan penelitian dengan komposisi material menggunakan metode *3D printing multilayer*.
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat dilakukan pengaplikasian kaki prostetik kepada pasien penderita tundaksa.



© 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 PUSTAKA

- [1] M. Iman Mujiarto, ST., “SIFAT DAN KARAKTERISTIK MATERIAL PLASTIK DAN BAHAN ADITIF,” *Repository.Uin-Suska.Ac.Id*, vol. 3, no. 2, 2023.
- [2] I. Mawardi, Hasrin, and Hanif, “Analisis Kualitas Produk dengan Pengaturan Parameter Temperatur Injeksi Material Plastik Polypropylene (PP) Pada Proses Injection Molding,” *Ind. Eng. J.*, vol. 4, no. 2, pp. 30–35, 2015.
- [3] F. S. Shahr, M. T. Hameed Sultan, A. U. M. Shah, and S. N. Azrie Safri, “A comparative analysis between conventional manufacturing and additive manufacturing of ankle-foot orthosis,” *Appl. Sci. Eng. Prog.*, vol. 13, no. 2, pp. 96–103, 2020, doi: 10.14416/j.asep.2020.03.002.
- [4] H. D. Anggraini, “Peran Teknologi 3D Printing dalam Manufaktur Komponen Mesin,” vol. 1, no. 1, pp. 4–7, 2023.
- [5] C. Clinic, “Prosthesis,” Cleveland Clinic. Accessed: Mar. 19, 2025. [Online]. Available: <https://my.clevelandclinic.org/health/treatments/prosthesis#overview>
- [6] B. P. Statistik, *Buku I Analisis Tematik Kependudukan Indonesia (Fertilitas Remaja, Kematian Maternal, Kematian Bayi, dan Penyandang Disabilitas)*. Badan Pusat Statistik, 2023.
- [7] L. E. Yousif, K. K. Resan, and R. M. Fenjan, “Temperature effect on mechanical characteristics of a new design prosthetic foot,” *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 13, pp. 1431–1447, 2018.
- [8] Z. F. Emzain, N. Qosim, A. Mufarrih, Y. D. Herlambang, and F. Arifin, “Desain dan Analisis Elemen Hingga Model Wrist Hand Orthosis Berbasis Metode Pemodelan Reverse Engineering,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 18, no. 1, p. 19, 2023, doi: 10.32497/jrm.v18i1.3936.
- [9] J. Yap and G. Renda, “Low-cost 3D-printable Prosthetic Foot,” *Proc. Third Eur. Conf. Des. 2015*, 2015.
- [10] B. I. A. Muttaqin, “Telaah Kajian dan Literature Review Design of



© 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

- Experiment (DoE),” *J. Adv. Inf. Ind. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 33–40, 2019, doi: 10.52435/jaiit.v1i1.10.
- [11] Shabana, R. V. Nikhil Santosh, J. Sarojini, K. Arun Vikram, and V. V. K. Lakshmi, “Evaluating the mechanical properties of commonly used 3D printed ABS and PLA polymers with multi layered polymers,” *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, vol. 8, no. 6, pp. 2351–2356, 2019, doi: 10.35940/ijeat.F8646.088619.
- [12] A. A. Kadhim, E. A. Abbod, A. K. Muhammad, K. K. Resan, and M. Al-Waily, “Manufacturing and analyzing of a new prosthetic shank with adapters by 3D printer,” *J. Mech. Eng. Res. Dev.*, vol. 44, no. 3, pp. 383–391, 2021.
- [13] H. Kamel, O. Harraz, K. Azab, and T. Attia, “Developing an Optimized Low-Cost Transtibial Energy Storage and Release Prosthetic Foot Using Three-Dimensional Printing,” *J. Eng. Sci. Med. Diagnostics Ther.*, vol. 3, no. 2, 2020, doi: 10.1115/1.4046319.
- [14] Z. F. Emzain, U. S. Amrullah, and A. Mufarrih, “Desain dan Analisis Elemen Hingga Model Prosthetic Ankle-Foot,” *Infotekmesin*, vol. 11, no. 2, pp. 87–93, 2020, doi: 10.35970/infotekmesin.v11i2.257.
- [15] A. B. Fauziah, R.A., Sriwarno, “Pengembangan Desain Kaki Prostetik yang Berbasis Low-Cost untuk Industri Kecil Kaki Palsu di Indonesia,” *J. Tingkat Sarj. dan Desain*, no. 1, pp. 1–7, 2017.
- [16] W. D. Lestari *et al.*, “Design and Manufacturing Ankle Foot Prosthetics for Patients with Transtibial Amputation,” *Int. J. Disabil. Sport. Heal. Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 54–59, 2024, doi: 10.33438/ijdshts.1371603.
- [17] Y. V. Yoanita, D. Y. H. Kumarajati, and H. H. Marfuah, “Analisis biomekanik kaki palsu tiruan jenis energy stock and recovery (ESR) dengan finite element analisis,” *J. Crankshaft*, vol. 6, no. 2, pp. 74–82, 2023, doi: 10.24176/crankshaft.v6i2.11090.
- [18] L. Pessoa Linhares Oliveira, A. Scari, C. Bruno Santos Vimieiro, N. Mendes Lacerda, D. Borges de Oliveira, and A. da Silva Scari, “Proof of Concept of a 3D Printed Prosthetic Foot By Finite Element Analyzes,” no.



© 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

- January 2022, 2021, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/357539320>
- [19] D. Y. H. Kumarajati, "Design And Analysis of 3D Printable Prosthetic Foot with Honeycomb Structure," *Appl. Sci. Technol. Res. J.*, vol. 2, no. 2, pp. 637–655, 2023, doi: 10.1007/978-981-16-4222-7_72.
- [20] M. Farhan and Muslimin, "ANALISIS PARAMETER OPTIMAL INFILL PATTERN 3D PRINTING PADA FILAMENT COMPOSITE UNTUK FABRIKASI COVER MOTOR CONTROLLER," 2024.
- [21] S. Eluzai Yedija Wijayanto, R. Handoko, J. Chenia Noel, T. Willian Anggawirawan, and T. Jaya Suteja, "IDENTIFIKASI JENIS INFILL PATTERN PADA PROSES 3D PRINTING YANG MENGHASILKAN HASIL CETAK DENGAN KEKUATAN TEKAN DAN PANJANG FILAMEN YANG OPTIMAL 3D," *REKAYASAN MESIN*, vol. V13 N2, no. 22, pp. 531–539, 2022.
- [22] F. D. Mahesa, D. Budiman, Mulyadi, and Rakiman, "Pengaruh Pola Kerapatan Infill Pattern Terhadap Kekuatan Tarik Filamen PLA 3D Printer," *J. PROTEMAN Prof. Technol. Manuf.*, vol. 1, no. 1, pp. 30–40, 2024.
- [23] S. K. Dhinesh, S. Arun Prakash, K. L. Senthil Kumar, and A. Megalingam, "Study on flexural and tensile behavior of PLA, ABS and PLA-ABS materials," *Mater. Today Proc.*, vol. 45, no. xxxx, pp. 1175–1180, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.546.
- [24] Mahros Darsin, Izharudin Ahmad, Intan Hardiatama, Agus Triono, and I Made Ivan Wiyarta Cakra Sujana, "The Effect of the Combination of PLA, PP, and ABS Filaments on Flexural Strength in FDM 3D Printing," *J. Inf. Technol. Comput. Sci. Electr. Eng.*, vol. 1, no. S1, pp. 41–46, 2024, doi: 10.61306/jitcse.v1is1.18.
- [25] P. H. Tjahjanti, *Buku Ajar Teori Dan Aplikasi Material Komposit Dan Polimer*. Sidoarjo: UMSIDA Press Redaksi, 2018. doi: 10.21070/2019/978-602-5914-27-0.
- [26] F. Sabah, A. Wahid, A. Kartouni, H. Chakir, and M. ELghorba, "Failure



© 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

analysis of acrylonitrile butadiene styrene (ABS) materials and damage modeling by fracture,” *Int. J. Performability Eng.*, vol. 15, no. 9, pp. 2285–2293, 2019, doi: 10.23940/ijpe.19.09.p1.22852293.

- [27] A. Hutajulu, “Sintesis dan Karakterisasi Material Biokomposit Polylactic Acid (PLA) Berpenguat Serbuk Tulang Sapi Sebagai Kandidat Bahan Tulang Buatan,” *Inst. Teknol. Sepuluh Nopember, Surabaya*, pp. 1–124, 2017.
- [28] B. Freeland, E. McCarthy, R. Balakrishnan, S. Fahy, and A. Boland, “A Review of Polylactic Acid as a Replacement Material for Single-Use Laboratory Components,” no. April, 2022, doi: 10.3390/ma15092989.
- [29] 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.
- [30] J. Britti Bacalhau, T. Mumi Cunha, and C. R. M. Afonso, “Effect of Ni content on the Hardenability of a Bainitic Steel for Processing of Plastics,” *24th ABCM Int. Congr. Mech. Eng.*, 2017, doi: 10.26678/abcm.cobem2017.cob17-1174.
- [31] N. Shahrudin, T. C. Lee, and R. Ramlan, “An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications,” *Procedia Manuf.*, vol. 35, pp. 1286–1296, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.06.089.
- [32] C. Ender, “3D Printer Quick Installation Guide,” *Creality Ender*, 2023. [Online]. Available: <https://manuals.plus/creality/ender-3-s1-3d-printer-manual#axzz7wHPcvuea>
- [33] K. Rajan, M. Samykano, K. Kadirgama, W. S. W. Harun, and M. M. Rahman, *Fused deposition modeling: process, materials, parameters, properties, and applications*, vol. 120, no. 3–4. 2022. doi: 10.1007/s00170-022-08860-7.
- [34] S. Olivera, H. B. Muralidhara, and K. Venkatesh, “EVALUATION OF SURFACE INTEGRITY AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF ELECTROPLATED ABSPLASTICS DEVELOPED USING FDM PROCESS,” *17th APCCC*, 2016.



© 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

- [35] A. Rizki, "Analisis Pengembangan Produk Filamen 3D Printing Menggunakan Material Komposit Polypropylene, ABS, dan Glass fiber," 2024.
- [36] G. P. Annanto, I. N. Ardianto, and I. Syafa'at, "Pengaruh Infill Pattern Terhadap Kekuatan Hasil Cetakan 3d Printing Berbahan Poly-Lactic Acid," *J. Ilm. MOMENTUM*, vol. 17, no. 2, p. 103, 2021, doi: 10.36499/jim.v17i2.5520.
- [37] B. O'Neill, "Cura Infill Patterns: What They Are and When to Use Them," WEVOLVER. Accessed: Apr. 23, 2025. [Online]. Available: <https://www.wevolver.com/article/cura-infill-patterns>
- [38] J. Prusa, "Infill Patterns," PRUSA RESEARCH by JOSEF PRUSA. Accessed: Apr. 23, 2025. [Online]. Available: https://help.prusa3d.com/article/infill-patterns_177130
- [39] R. Gunawan, "Pengaruh Densitas Isi terhadap Ketelitian Dimensi pada Produk Mesin 3D Printing," *Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 15–19, 2020, doi: 10.25105/ms.v11i1.7438.
- [40] L. Bergonzi, M. Vettori, L. Stefanini, and L. D'Alcarno, "Different infill geometry influence on mechanical properties of FDM produced PLA," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1038, no. 1, p. 012071, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1038/1/012071.
- [41] T. Ramadhan Fitrianto and R. Dharmastiti, "Perancangan Produk Kaki Prostetik Bawah Lutut Berdasarkan Berbagai Kriteria Pengguna Usia 15-64 Tahun," *J. Kreat. Desain Prod. Ind. dan Arsit.*, vol. 11, no. 1, p. 11, 2023, doi: 10.46964/jkdpia.v11i1.358.
- [42] N. Aisyah, "PERANCANGAN PEGAS PADA ANKLE-FOOT DEVICE DARI KAKI PROSTESIS SKYWALKER," 2020.
- [43] Pediagenosis, "AMPUTATIONS IN THE FOOT," Pediagenosis. Accessed: Jan. 24, 2025. [Online]. Available: https://www.pediagenosis.com/2024/11/amputations-in-foot.html?m=0#google_vignette
- [44] M. K. Zane, "Physical Therapy Guide to Below-Knee Amputation



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

- (Transtibial Amputation),” ChoosePT. Accessed: Jan. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.choosept.com/guide/physical-therapy-guide-below-knee-amputation>
- [45] R. A. Gosselin, D. A. Spiegel, and M. Foltz, *Global Orthopedics*. 2020.
- [46] V. Goel, “Above Knee Amputation,” medtube.net. Accessed: Jan. 24, 2025. [Online]. Available: <https://medtube.net/general-surgery/medical-images/26675-above-knee-amputation>
- [47] A. Setiadi, “Desain, simulasi dan pembuatan model prostesis bawah lutut berdasarkan antropometri orang indonesia,” *Skripsi*, 2018.
- [48] S. Rodiah, A. Risna, and M. N. Agustin, “Pola Berjalan Manusia Human Walking Patterns,” vol. 01, pp. 54–58, 2024.
- [49] M. Karadsheh, “Gait Cycle,” orthobullets. [Online]. Available: https://www-orthobullets-com.translate.goog/foot-and-ankle/7001/gait-cycle?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=imgs
- [50] H. Budiman, “Analisis Pengujian Tarik (Tensile Test) Pada Baja St37 Dengan Alat Bantu Ukur Load Cell,” *J-Ensitem*, vol. 3, no. 01, pp. 9–13, 2016, doi: 10.31949/j-ensitem.v3i01.309.
- [51] C. Wiratama, “Kurva Tegangan Regangan Pada Material,” pttensor.com. Accessed: Apr. 22, 2025. [Online]. Available: <https://pttensor.com/2024/02/17/kurva-tegangan-regangan-pada-material/>
- [52] S. Anand Kumar and Y. Shivraj Narayan, *Tensile testing and evaluation of 3D-printed PLA specimens as per ASTM D638 type IV standard*, no. March. Springer Singapore, 2019. doi: 10.1007/978-981-13-2718-6_9.
- [53] American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics,” *ASTM Int.*, vol. 82, no. C, pp. 1–15, 2016, doi: 10.1520/D0638-14.1.
- [54] A. H. Amirulloh, “ANALISIS PARAMETER TEKATAN DAN KOMPOSISI MATERIAL TERHADAP DAYA SERAP AIR DAN KUAT LENTUR FABRIKASI GENTENG BIO-COMPOSITE,” 2024.
- [55] I. T. Maulana, A. Zohari, A. S. Wardoyo, and P. A. Heryanto, “Analisa Desain Rangka Alat Compact Heat Induction Press Menggunakan Metode



© 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

- Finite Element Analysis,” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 5, no. 2, p. 83, 2021, doi: 10.30588/jeemm.v5i2.894.
- [56] R. Ramadhan *et al.*, “Stress Analysis pada Komponen Silinder Pengepresan Mesin Up-Press Hidrolik Minyak Kakao di PT . Aneka Usaha Laba Jaya Utama,” *J. Mech.*, vol. 14, 2023.
- [57] B. Rochlitz and D. Pammer, “Design and analysis of 3D printable foot prosthesis,” *Period. Polytech. Mech. Eng.*, vol. 61, no. 4, pp. 282–287, 2017, doi: 10.3311/PPme.11085.
- [58] X. Arizaga, A. C. García, R. Lorenzo, Á. Rondón, and A. C. Rodríguez, “APPLICATION OF 3D SCANNING TECHNIQUES , CAD / CAE MODELING AND 3D PRINTING , IN THE DEVELOPMENT OF CUSTOMIZED ANKLE AND FOOT ORTHOSES,” pp. 1–16, 2024.
- [59] Wellzoom, “Wellzoom desktop filament extruder B,” Wellzoom. Accessed: Apr. 13, 2025. [Online]. Available: <http://wellzoomextruder.com/>
- [60] Creality, “Ender-3 V3 KE,” Creality. Accessed: Apr. 13, 2025. [Online]. Available: https://www.creality.com/products/creality-ender-3-v3-ke?spm=..page_11973867.products_display_1.1&spm_prev=..index.header_1.1
- [61] M. Boopathi, D. Khanna, P. Venkatraman, R. Varshini, C. S. Sureka, and S. Pooja, “Fabrication and Dosimetric Characteristics of Silicon Elastomer-Based Bolus Using External Beam Radiotherapy,” *Asian Pacific J. Cancer Prev.*, vol. 24, no. 1, pp. 141–147, 2023, doi: 10.31557/APJCP.2023.24.1.141.
- [62] V. L. Riyandini, W. Fitradia¹, and J. Jerry, “Pengaruh Penambahan Maleat Anhidrida (Mah) Terhadap Sifat Fisik Papan Polimer Sampah Plastik Multilayer Dan Hdpe,” *Jukung (Jurnal Tek. Lingkungan)*, vol. 8, no. 1, pp. 40–51, 2022, doi: 10.20527/jukung.v8i1.13033.
- [63] A. M. Dunn, O. S. Hofmann, B. Waters, and E. Witchel, “Cloaking malware with the trusted platform module,” 2011.
- [64] J. Pratama and A. Z. Adib, “Pengaruh Parameter Cetak Pada Nilai Kekerasan Serta Akurasi Dimensi Material Thermoplastic Elastomer (TPE)



© 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

Hasil 3D Printing,” *J. Ilm. Giga*, vol. 25, no. 1, p. 35, 2022, doi: 10.47313/jig.v25i1.1712.

[65] D. B. Kusuma, M. Mahardika, J. Pratama, U. A. Salim, S. I. Cahyono, and B. Arifvianto, “Metode Pencegahan Warping dan Cacat Kualitas Permukaan Produk Fused Deposition Modelling (FDM),” *Pros. Semin. Nas. Teknol. Inf. dan Kedirgant.*, vol. VII, pp. 47–56, 2022.

[66] J. Ramian, J. Ramian, and D. Dziob, “Thermal deformations of thermoplast during 3D printing: Warping in the case of ABS,” *Materials (Basel)*, vol. 14, no. 22, 2021, doi: 10.3390/ma14227070.

[67] Z. Taheri, A. Karimnejad Esfahani, and A. Ramiar, *Thermal study of clogging during filament-based material extrusion additive manufacturing: experimental–numerical study*, vol. 119, no. 7–8, 2022. doi: 10.1007/s00170-021-08281-y.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



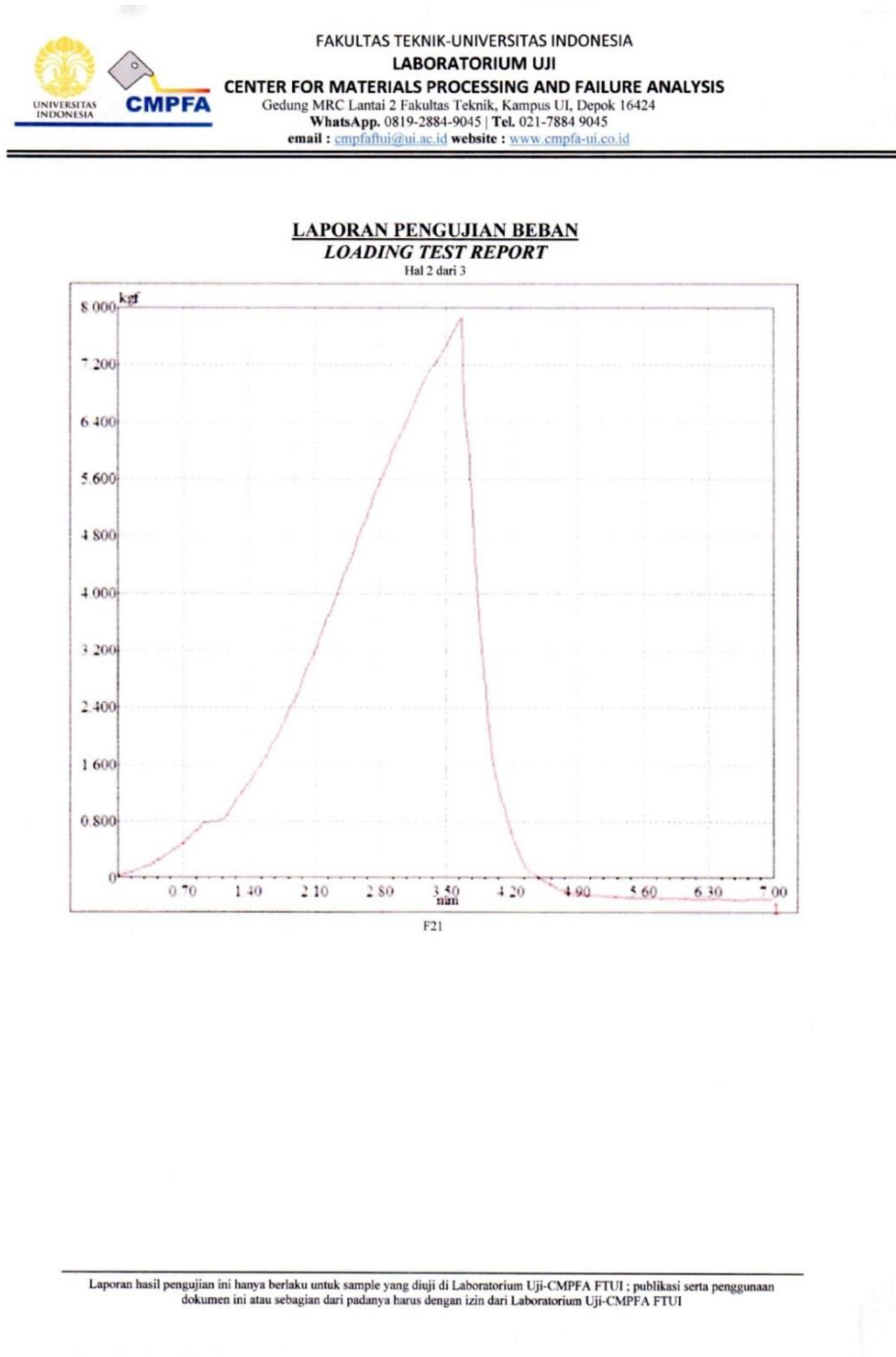
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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

LAMPIRAN

Lampiran 1. Grafik Uji Tarik Filamen Sampel F2.1



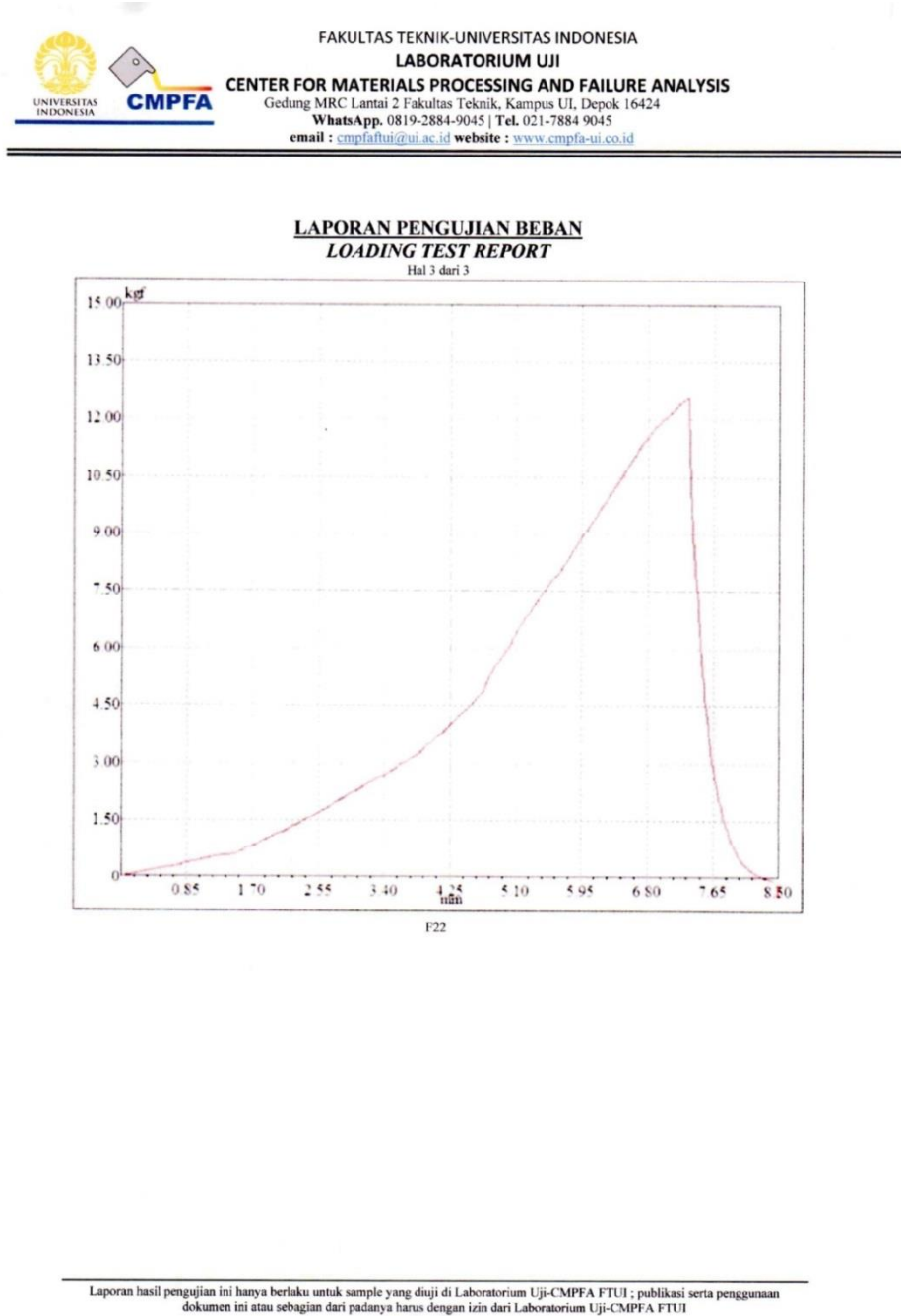


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Lampiran 2. Grafik Uji Tarik Filamen Sampel F2.2



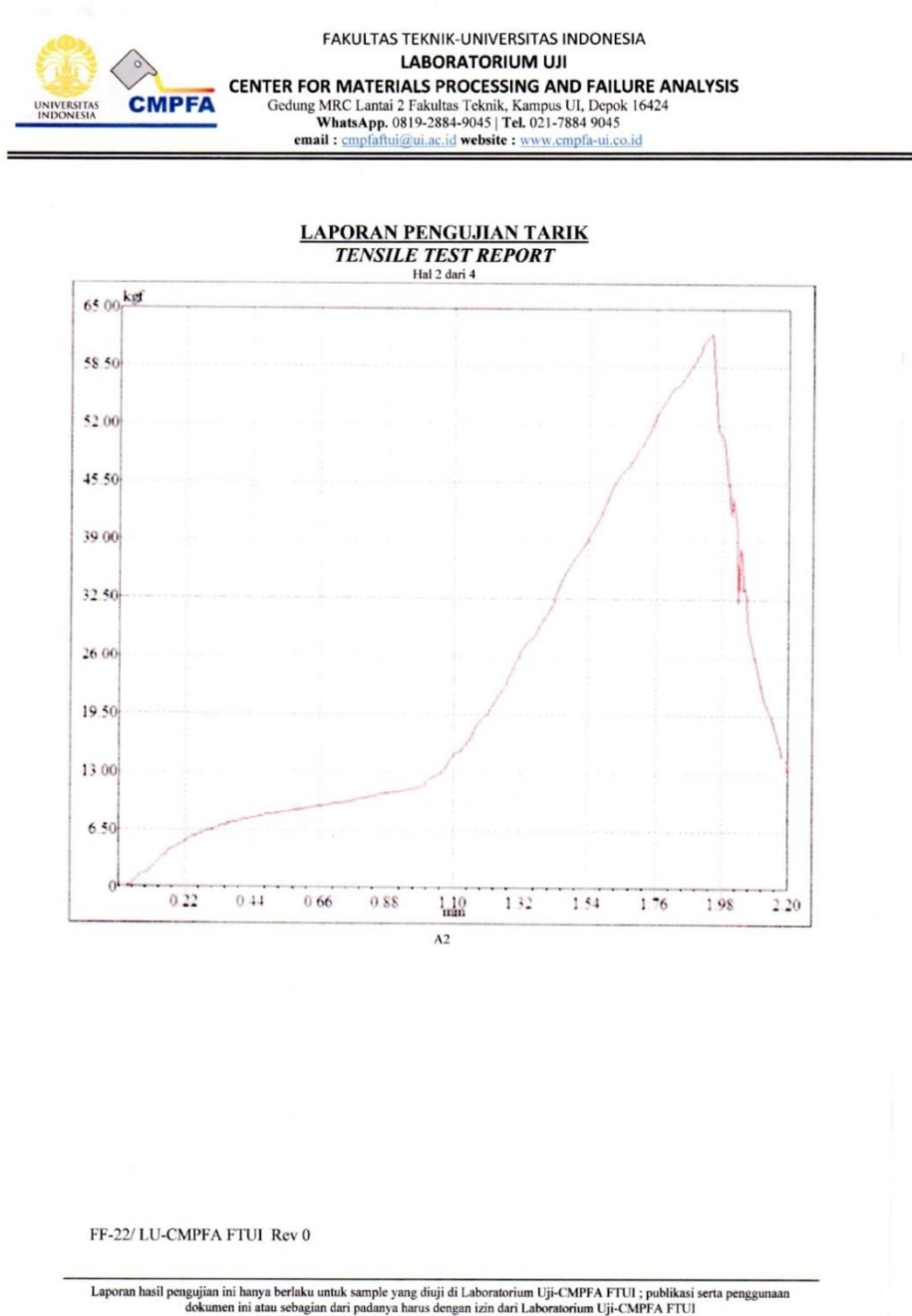


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Lampiran 3. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel A2





© 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 4. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel A3



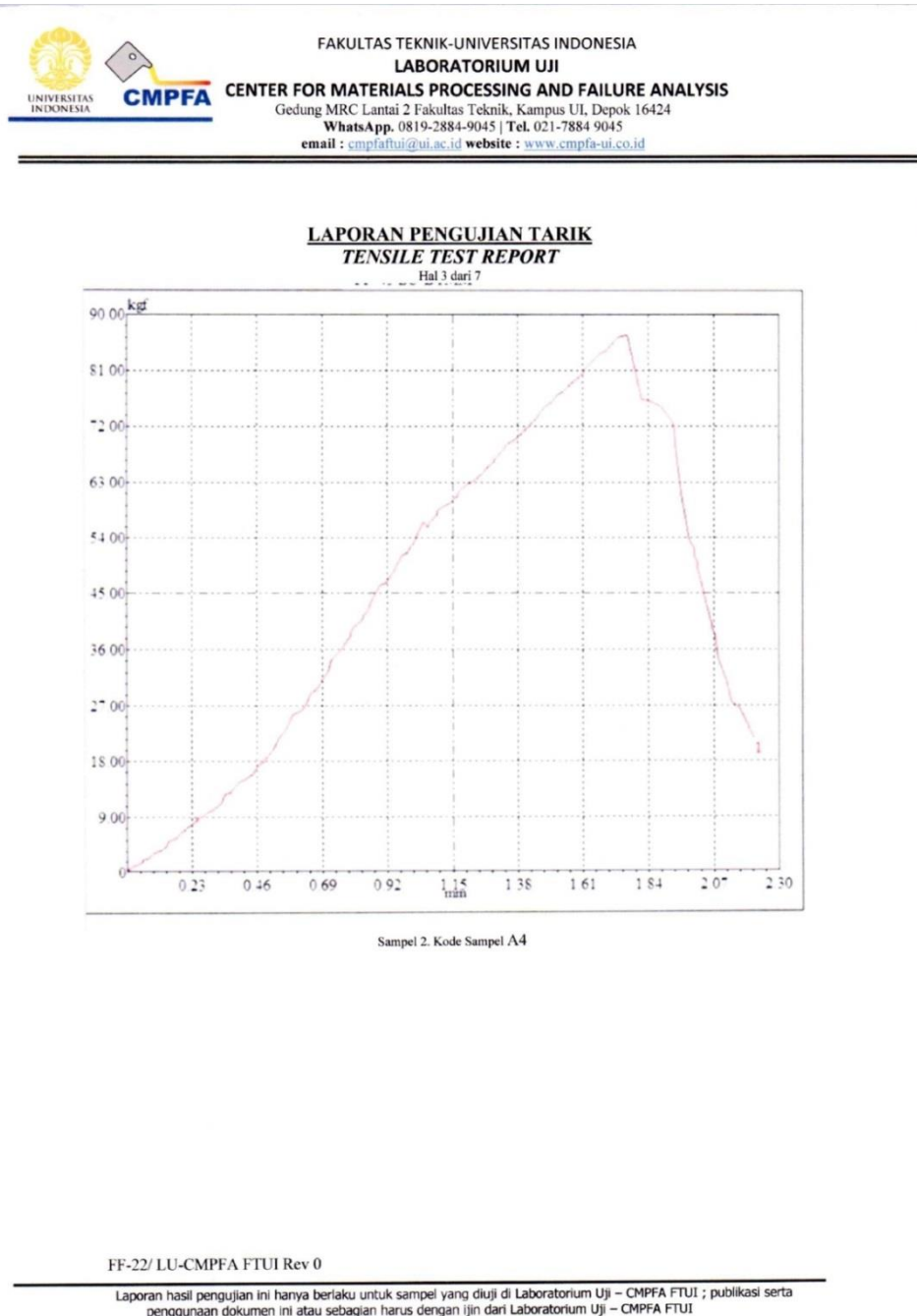


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel A4



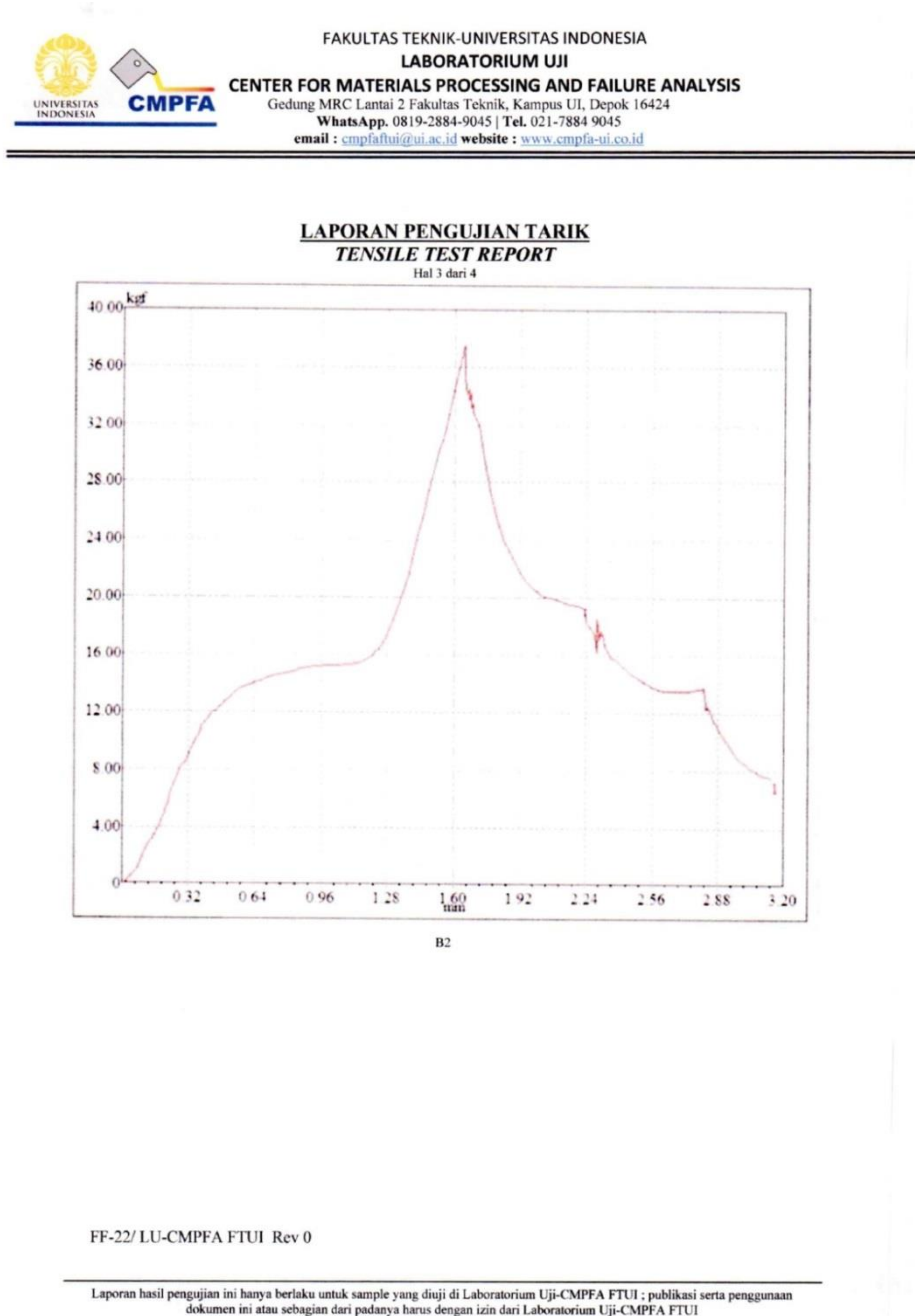


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel B2



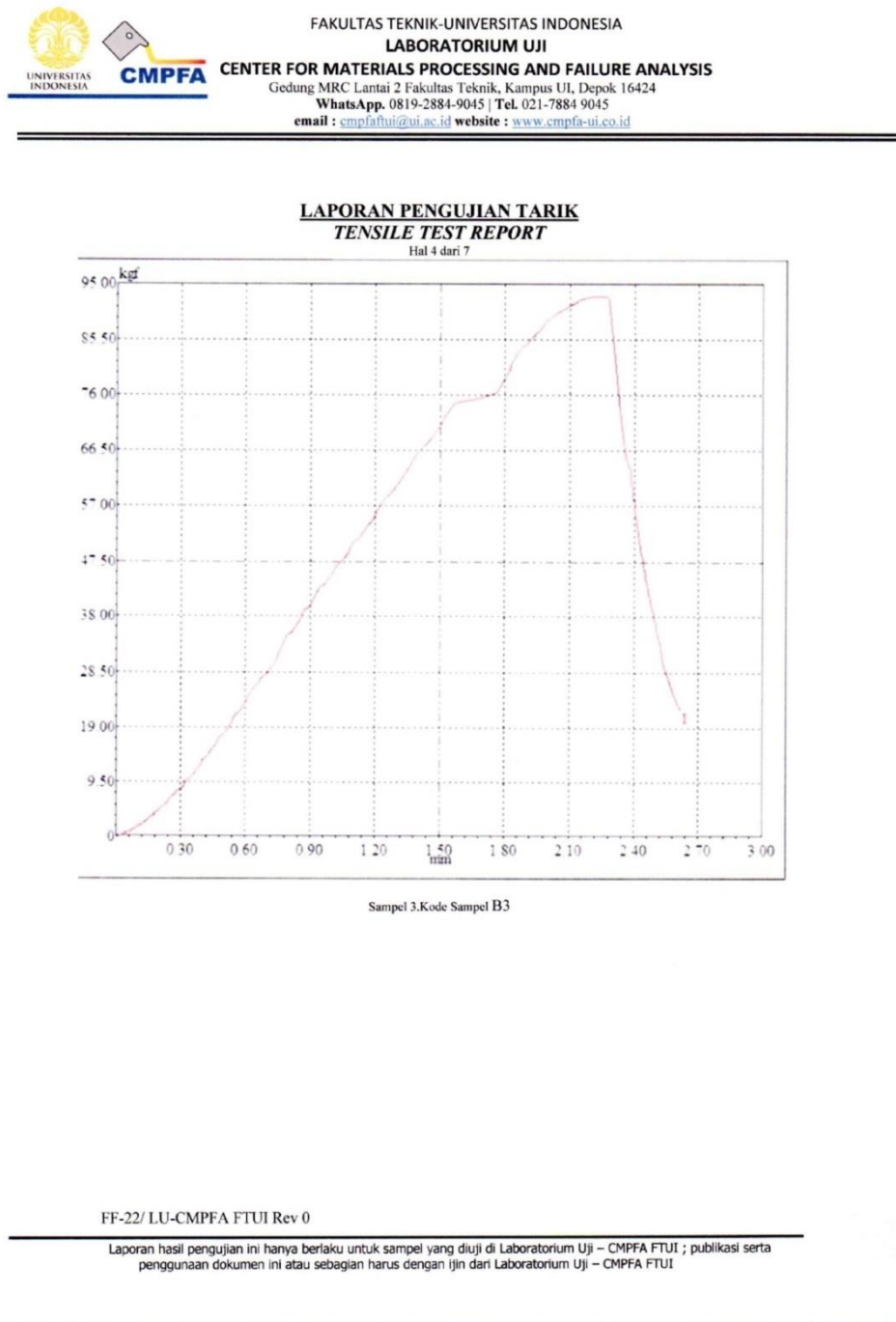


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Lampiran 7. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel 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

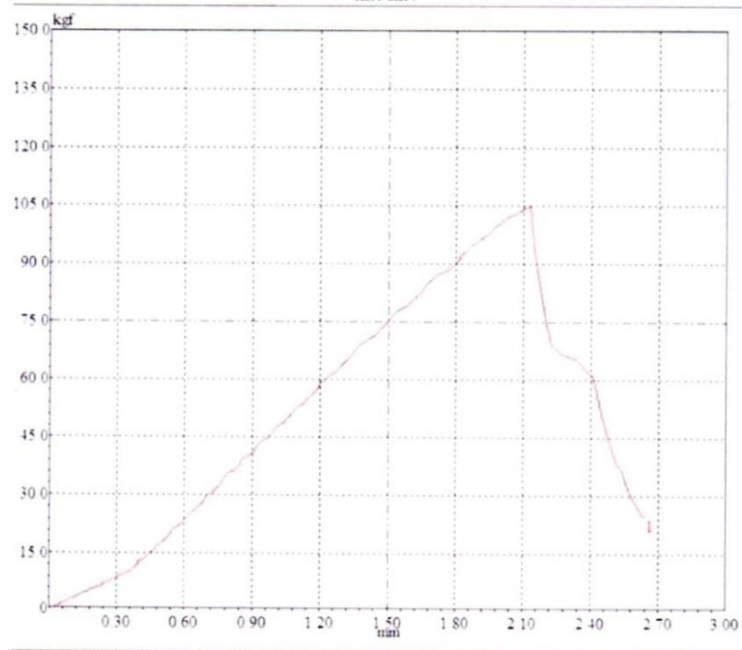
Lampiran 8. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel B4



FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS INDONESIA
 LABORATORIUM UJI
 CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS
 Gedung MRC Lantai 2 Fakultas Teknik, Kampus UI, Depok 16424
 WhatsApp: 0819-2884-9045 | Tel. 021-7884 9045
 email : cmpfautui@ui.ac.id website : www.cmpfa-ui.co.id

LAPORAN PENGUJIAN TARIK TENSILE TEST REPORT

Hal 5 dari 7



Sampel 4.Kode Sampel B4

FF-22/ LU-CMPFA FTUI Rev 0

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji – CMPFA FTUI ; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian harus dengan ijin dari Laboratorium Uji – CMPFA FTUI

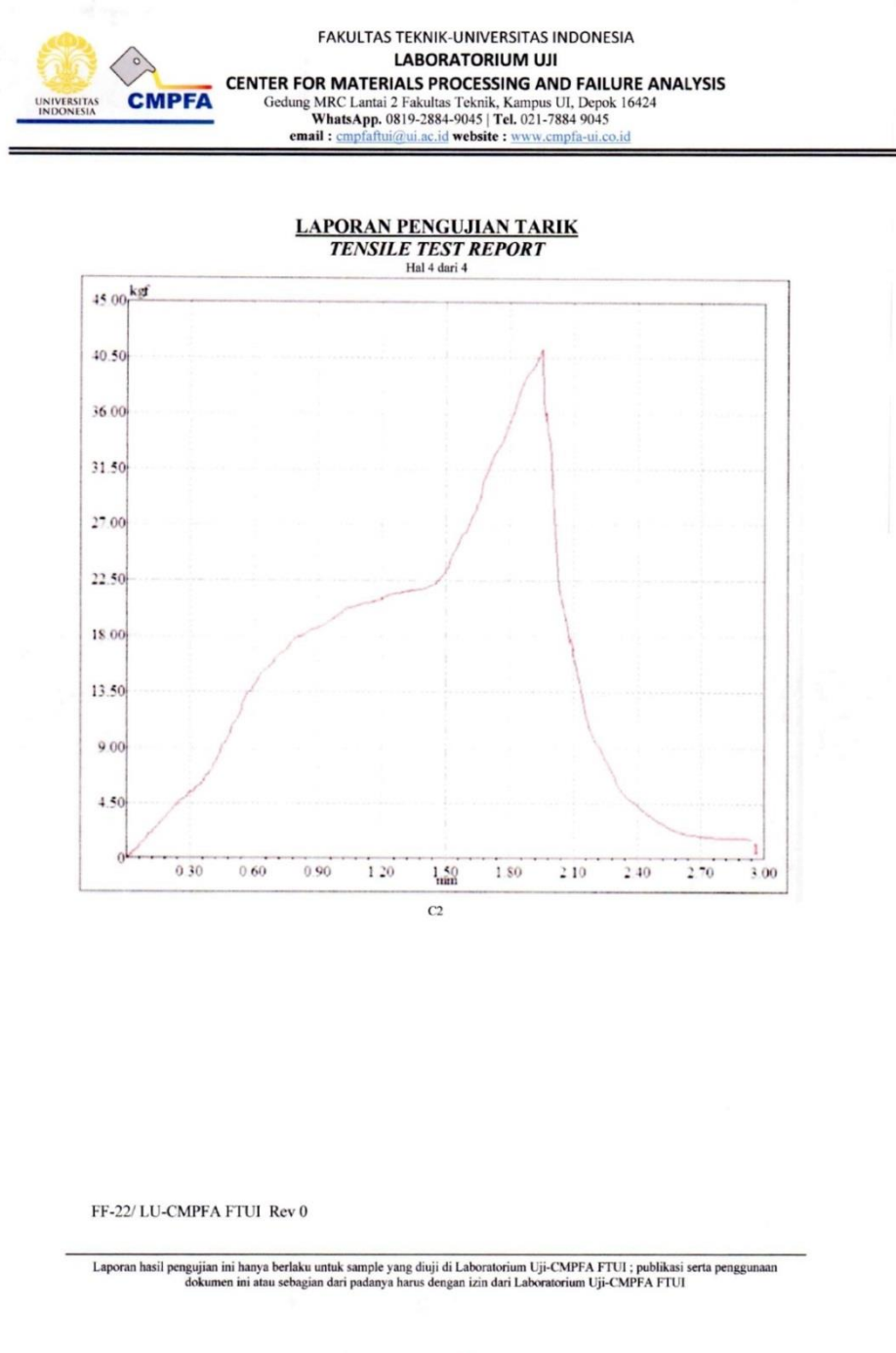


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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 9. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel C2





© 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

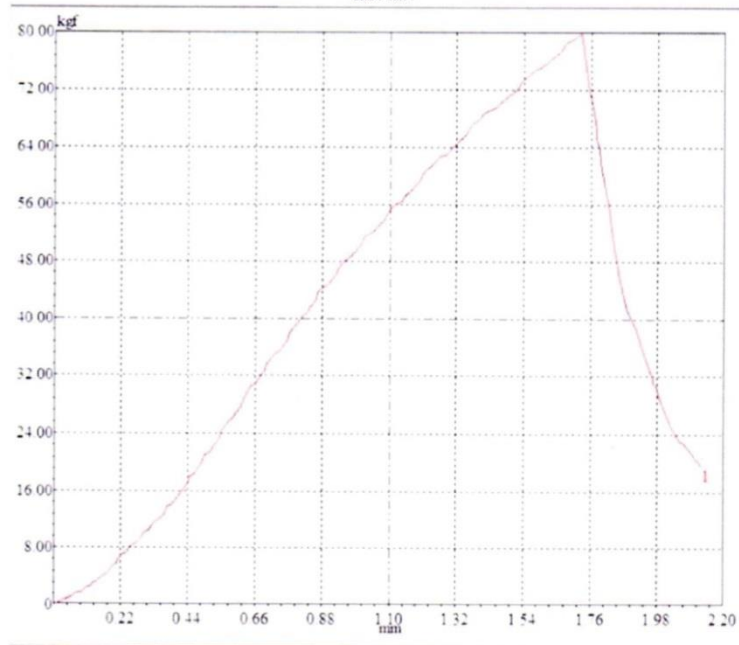
Lampiran 10. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel C3



FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS
 Gedung MRC Lantai 2 Fakultas Teknik, Kampus UI, Depok 16424
 WhatsApp. 0819-2884-9045 | Tel. 021-7884 9045
 email : cmpfaftui@ui.ac.id website : www.cmpfa-ui.co.id

LAPORAN PENGUJIAN TARIK TENSILE TEST REPORT

Hal 6 dari 7



Sampel 5. Kode Sampel C3

FF-22/ LU-CMPFA FTUI Rev 0

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji – CMPFA FTUI ; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian harus dengan ijin dari Laboratorium Uji – CMPFA FTUI

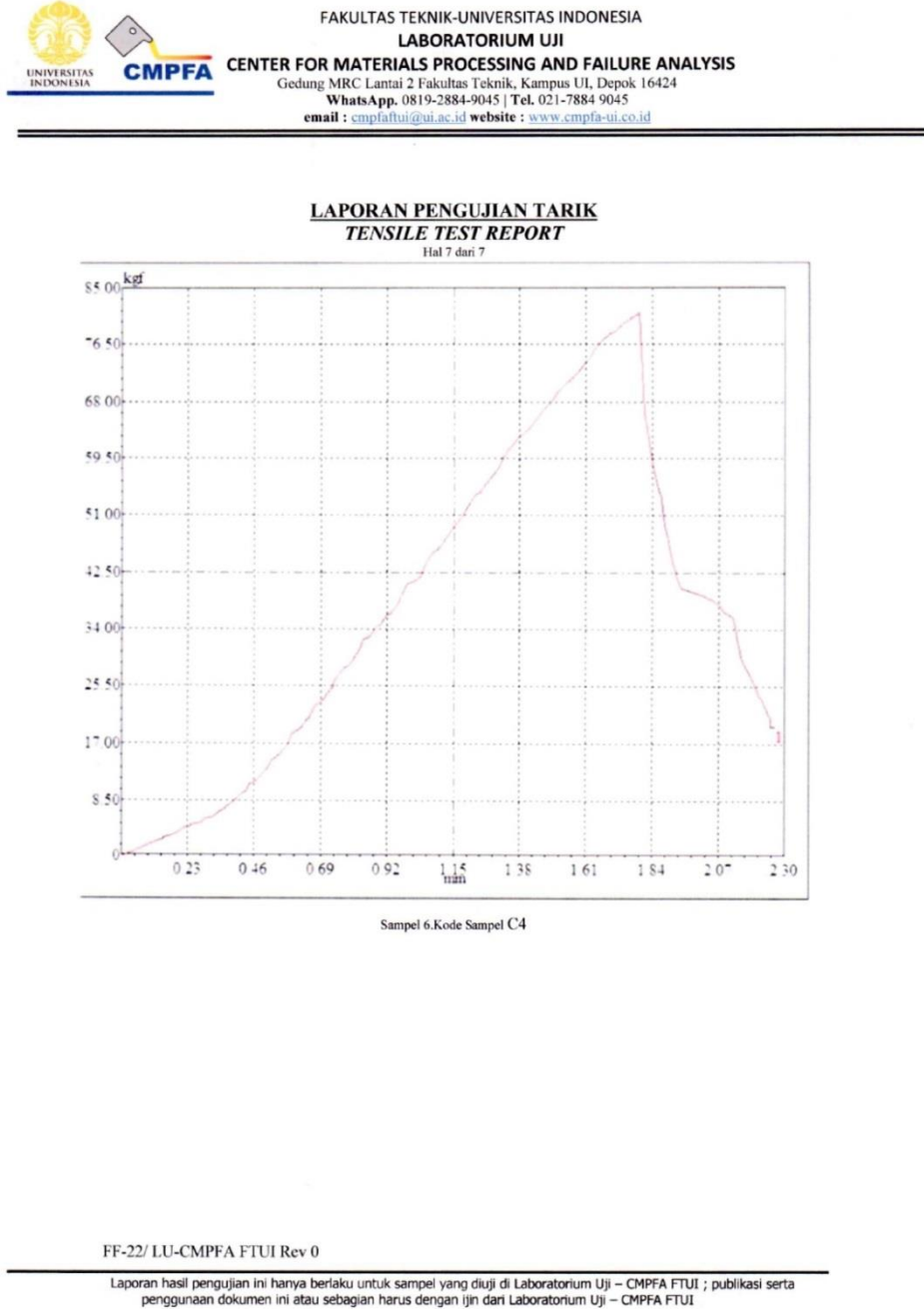


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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 11. Grafik Uji Tarik Spesimen Sampel C4



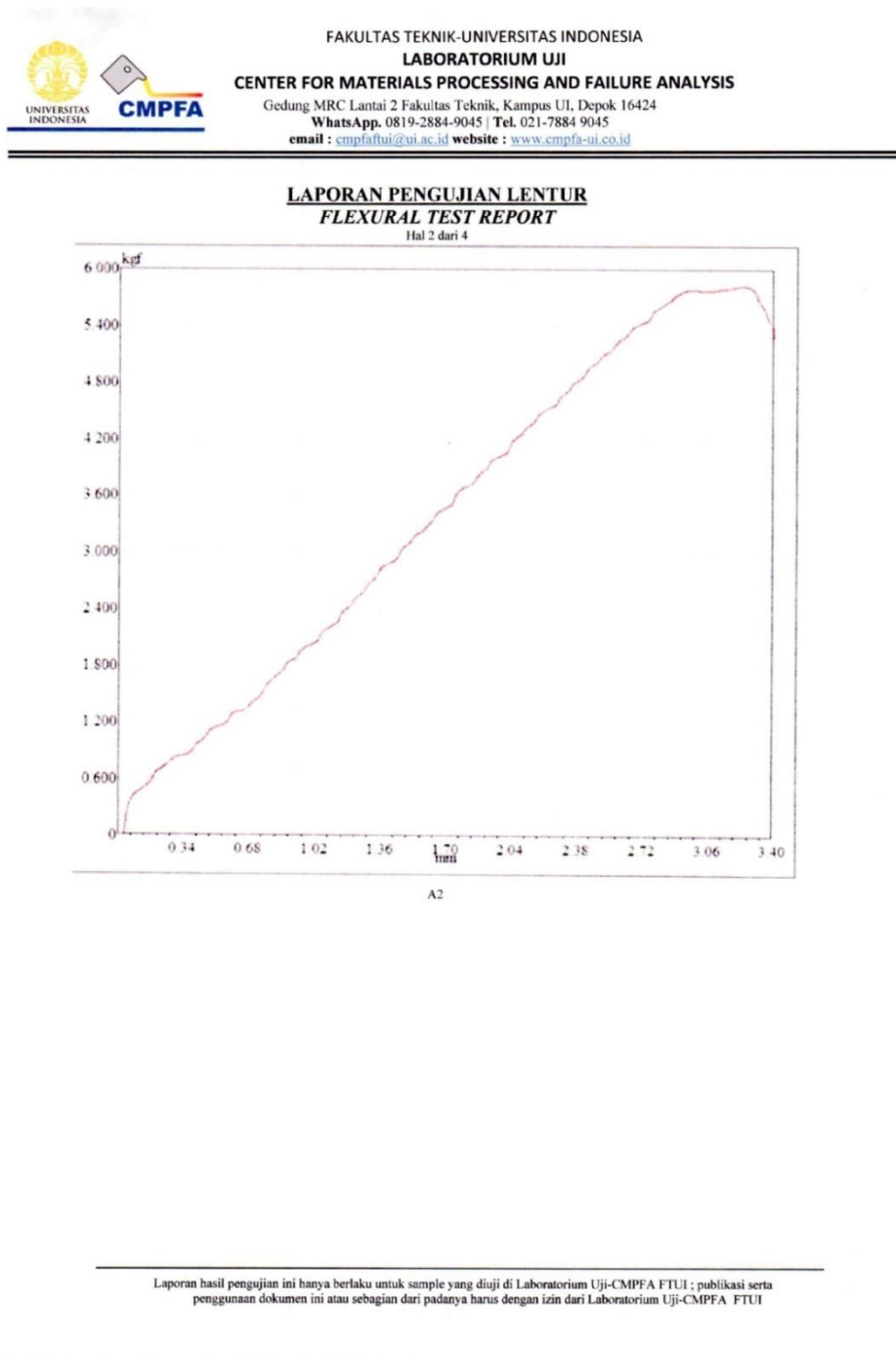


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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 12. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel A2



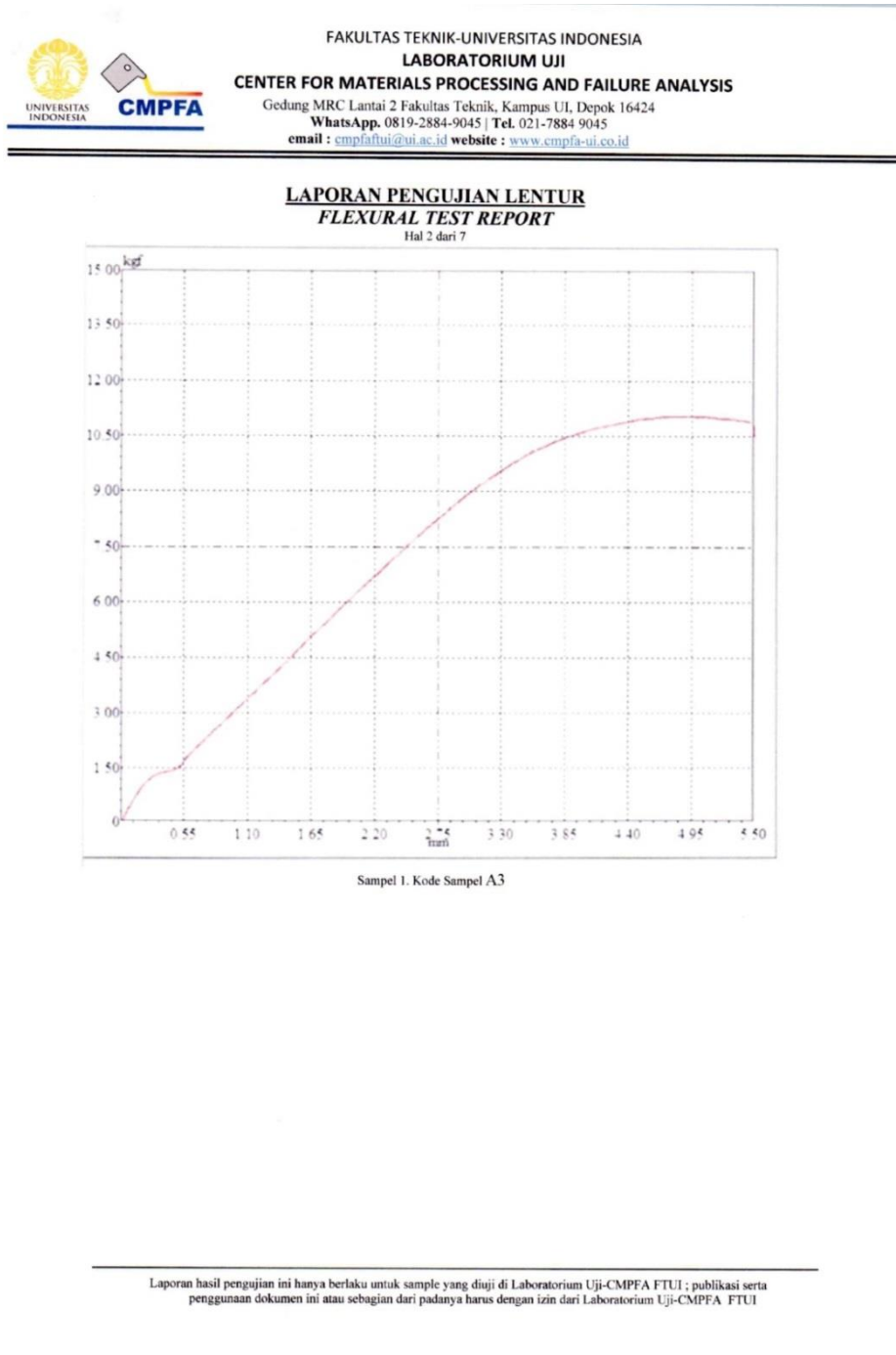


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel A3



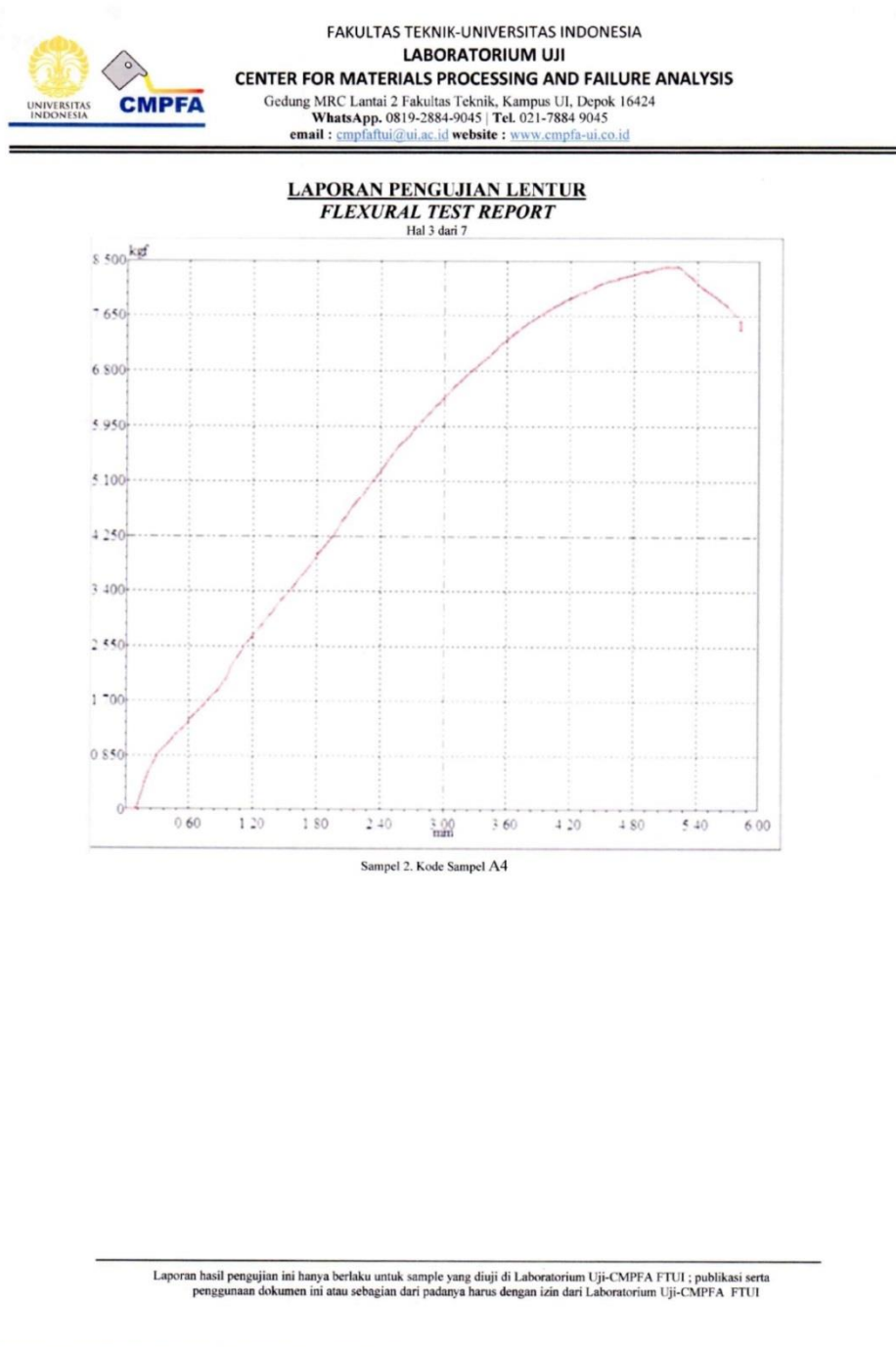


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel A4



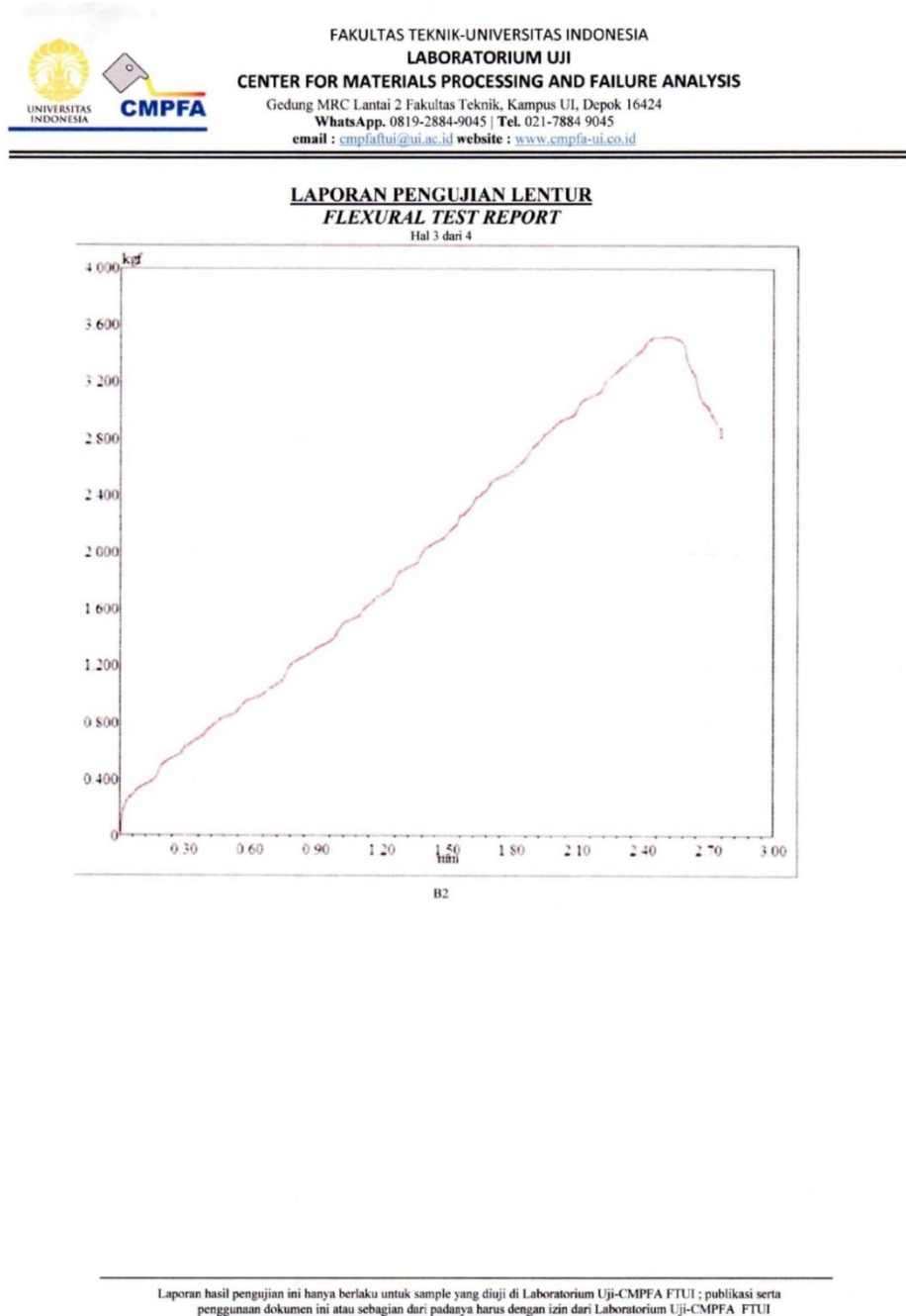


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel B2



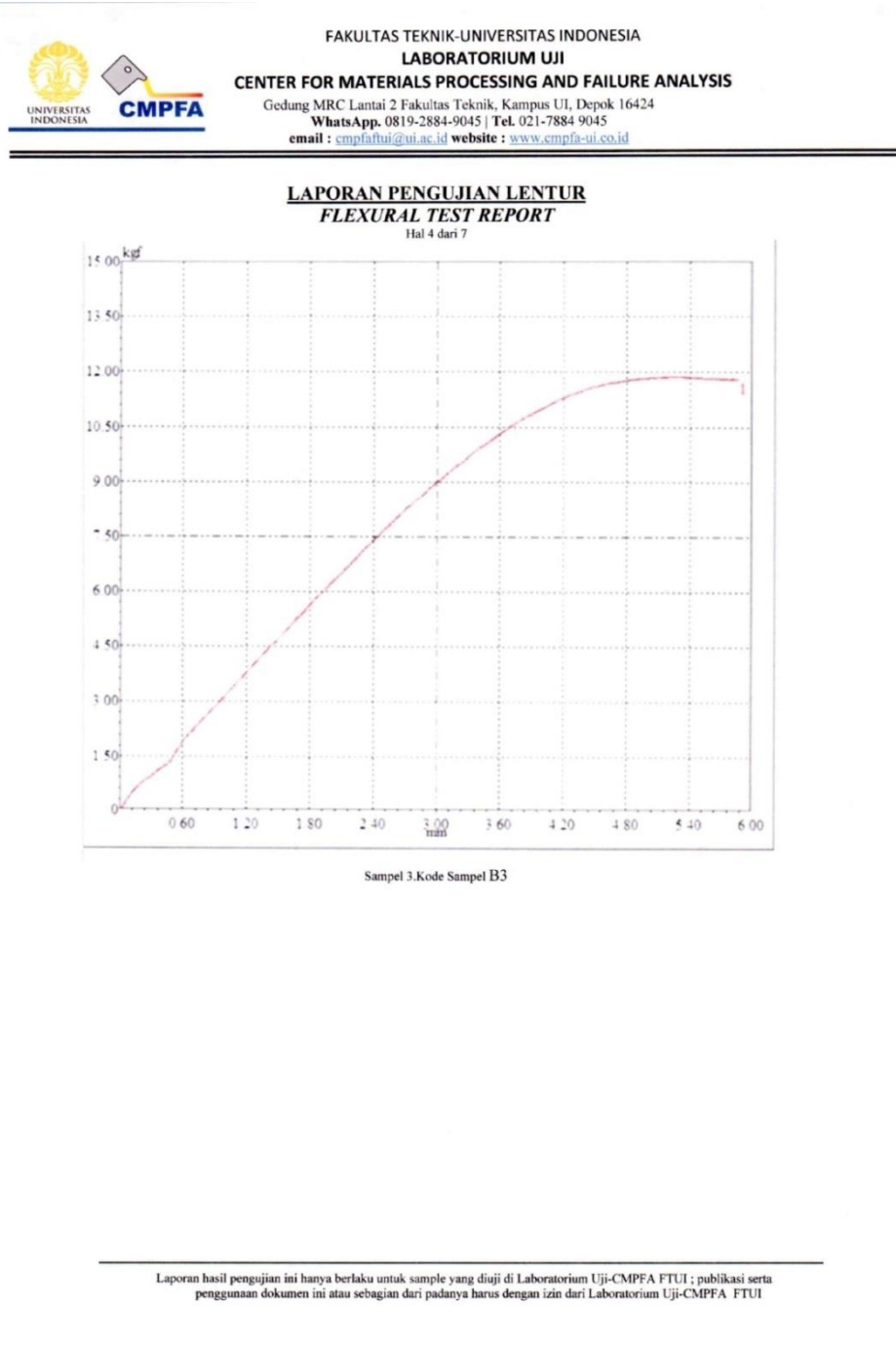


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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 16. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel B3



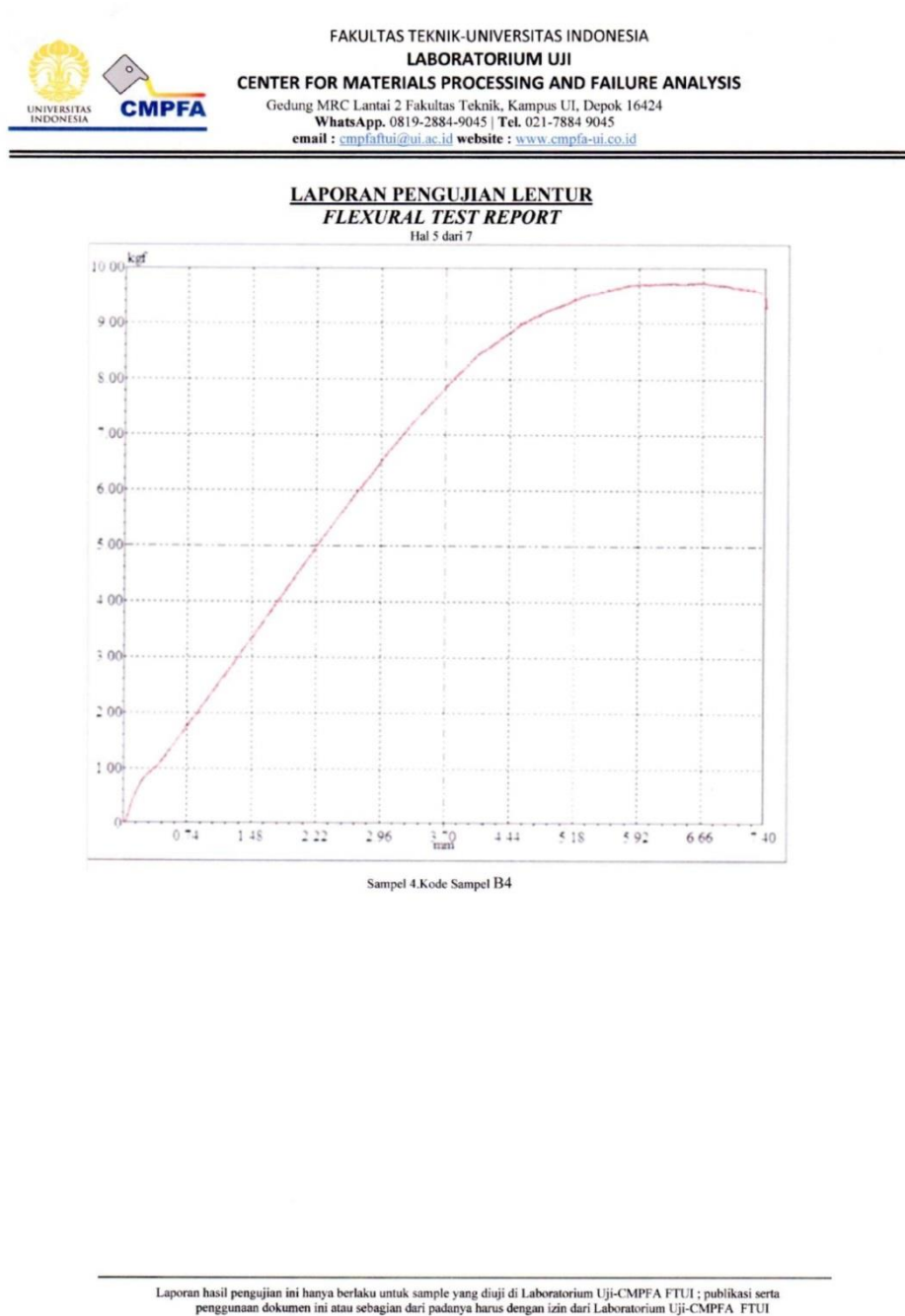


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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 17. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel B4



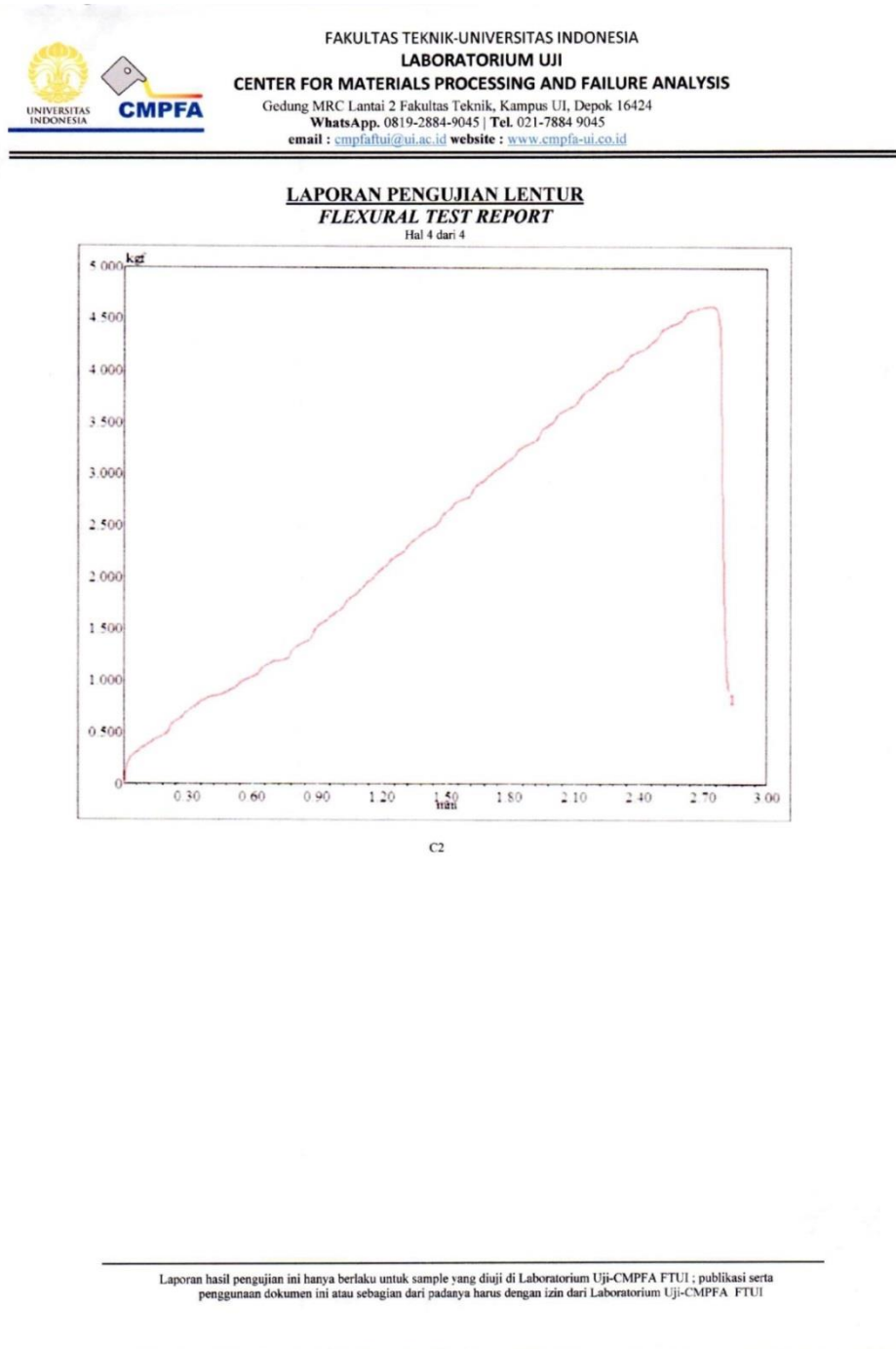


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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 18. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel C2



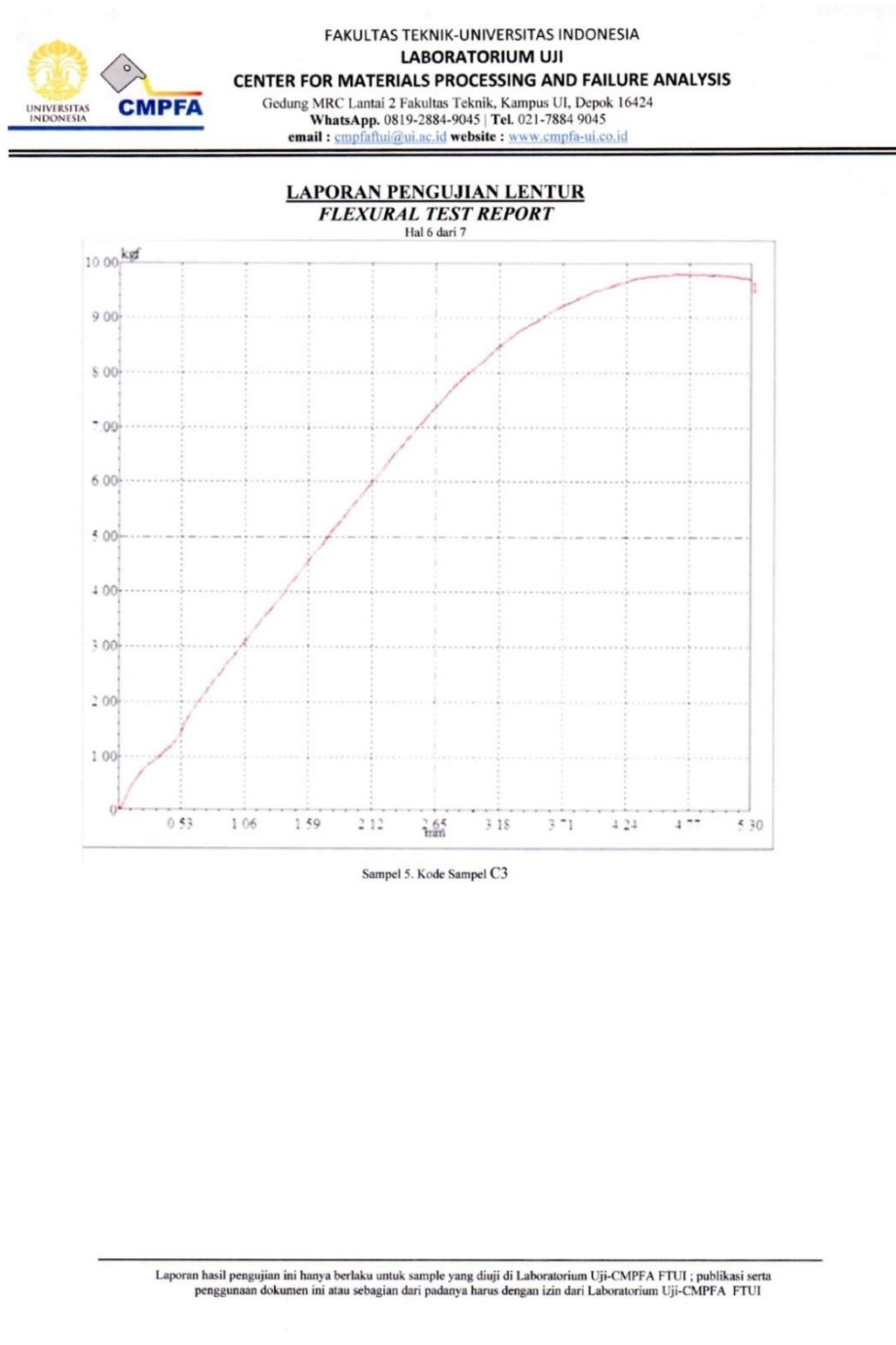


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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 19. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel C3





© 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 20. Grafik Uji Lentur Spesimen Sampel C4

