

**PENGARUH VARIASI *PRINT SPEED* DAN *NOZZLE TEMPERATURE* TERHADAP SIFAT MEKANIK SPESIMEN
HASIL 3D *PRINTING* MENGGUNAKAN MATERIAL
FILAMEN TPU-95A**

SKRIPSI

TRIADESMAN GULO

20210110080

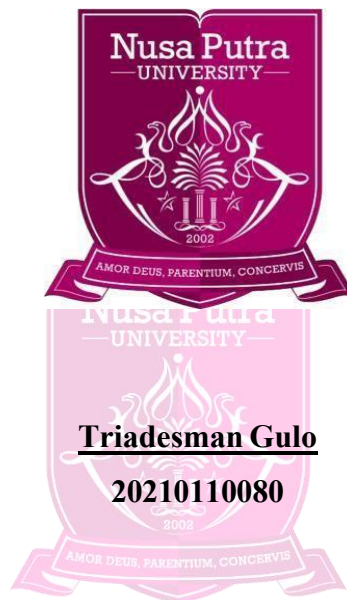


**FAKULTAS TEKNIK, KOMPUTER DAN DESAIN
PROGRAM STUDY TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS NUSA PUTRA
SUKABUMI
JULI 2025**

**PENGARUH VARIASI *PRINT SPEED* DAN *NOZZLE TEMPERATURE* TERHADAP SIFAT MEKANIK SPESIMEN
HASIL 3D *PRINTING* MENGGUNAKAN MATERIAL
FILAMEN TPU-95A**

SKRIPSI

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Dalam Menempuh Gelar Sarjana
Teknik Mesin.*



**FAKULTAS TEKNIK, KOMPUTER DAN DESAIN
PROGRAM STUDY TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS NUSA PUTRA
SUKABUMI
JULI 2025**

PERNYATAAN PENULIS

JUDUL : PENGARUH VARIASI *PRINT SPEED* DAN *NOZZLE TEMPERATURE* TERHADAP SIFAT MEKANIK SPESIMEN HASIL 3D *PRINTING* MENGGUNAKAN MATERIAL FILAMEN TPU-95A

NAMA : TRIADESMAN GULO

NIM : 20210110080

“Saya menyatakan dan bertanggungjawab dengan sebenarnya bahwa Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali cuplikan dan ringkasan yang masing-masing telah saya jelaskan sumbernya. Jika pada waktu selanjutnya ada pihak lain yang mengklaim bahwa Skripsi ini sebagai karyanya, yang disertai dengan bukti bukti yang cukup, maka saya bersedia untuk dibatalkan gelar Sarjana Teknik saya beserta segala hak dan kewajiban yang melekat pada gelar tersebut”.

Sukabumi, Juli 2025

Materai

Triadesman Gulo

PERSETUJUAN SKRIPSI

JUDUL : PENGARUH VARIASI *PRINT SPEED* DAN *NOZZLE TEMPERATURE* TERHADAP SIFAT MEKANIK SPESIMEN HASIL 3D *PRINTING* MENGGUNAKAN MATERIAL FILAMEN TPU-95A.

NAMA : TRIADESMAN GULO

NIM : 20210110080

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui

Sukabumi, Juli 2025

Ketua Program Studi

Dosen Pembimbing

Lazuardi Akmal Islami, M.Si.

Ir.Dani Mardiyana, S.Pd., M.T.

NIDN: 0415039402

NIDN : 0429038703



PENGESAHAN SKRIPSI

JUDUL : PENGARUH VARIASI *PRINT SPEED* DAN *NOZZLE TEMPERATURE* TERHADAP SIFAT MEKANIK SPESIMEN HASIL 3D *PRINTING* MENGGUNAKAN MATERIAL FILAMEN TPU-95A

NAMA : TRIADESMAN GULO

NIM : 20210110080

Skripsi ini telah diujikan dan dipertahankan di depan Dewan Penguji pada Sidang Skripsi tanggal.....Menurut pandangan kami, Skripsi ini memadai dari segi kualitas untuk tujuan penganugerahan gelar Sarjana Teknik (S.T)

Sukabumi, Juli 2025

Pembimbing I

Penguji I

Ir.Dani Mardiyana, S.Pd., M.T.

NIDN : 0429038703

Zaid Sulaiman, M.T.

NIDN : 0410109701

Penguji II

Ketua Program Studi



Ir.Fabrobi Fazlur Ridha, B.Eng, M.T.

NIDN: 0406029002

Lazuardi Akmal Islami, M.Si.

NIDN: 0415039402

Plh. Dekan Fakultas *Engineering, Computer and Design*

Ir.Paikun S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng

NIDN: 0402037401

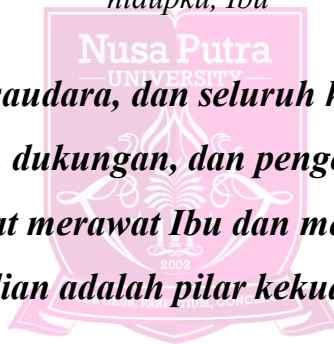
PERSEMBAHAN

With All My Heart, I Dedicate This to My Beloved Mother and Cherished Family

"Skripsi ini kupersembahkan dengan segenap cinta dan rindu yang tak terhingga kepada ibuku tercinta, yang kini telah tenang di sisi-Nya. Ingatanku terbang kembali pada hari-hari di mana aku harus meninggalkanmu, merantau ke Sukabumi, demi mengejar cita-cita. Aku tahu, saat itu ragamu sudah rapuh, namun semangat dan doamu tak pernah pudar, menjagaku dari jauh saat engkau diurus oleh keluarga di belakangku. Kabar kepergianmu saat aku jauh merantau adalah pukulan terberat. Setiap tetes keringat dan perjuangan dalam penulisan ini adalah bukti nyata dari kasih sayangmu yang tak terhingga. Walaupun raga tak lagi bersama, semangatmu akan selalu menjadi lentera dalam setiap langkah hidupku, Ibu"

Untuk ayah, nenek, saudara, dan seluruh keluarga besarku, terima kasih atas segala doa, dukungan, dan pengorbanan yang tak pernah putus, terutama saat merawat Ibu dan mendukungku dari jauh.

Kalian adalah pilar kekuatanku.



ABSTRACT

3D printing technology has brought significant innovation across various industries due to its capability to fabricate three-dimensional objects layer by layer. One of the materials commonly used in 3D printing is TPU-95A filament, which is known for its mechanical strength and durability. However, the effect of printing parameter variations such as print speed and nozzle temperature on the mechanical properties of TPU-95A filament still requires further investigation. This study aims to determine the influence of print speed and nozzle temperature on the mechanical properties of 3D printed products using TPU-95A material. In this study, the printing parameters are divided into two categories: fixed parameters and variable parameters. The fixed parameters include a layer height of 0.15 mm, concentric infill pattern, 100% infill density, and bed temperature of 60°C. The variable parameters consist of print speed and nozzle temperature. The research findings indicate that variations in print speed and nozzle temperature significantly affect the quality of the printed products. The combination of 70 mm/s print speed and 230°C nozzle temperature yielded the highest hardness (79.4 Shore A), highest density (1.133 g/cm³), and highest tensile strength (31.258 MPa). Meanwhile, the combination of 90 mm/s print speed and 230°C nozzle temperature resulted in the highest elongation at break (156.2%).

Keywords: *3D Printing; TPU-95A Filament; Print Speed; Nozzle Temperature; Mechanical Properties.*

ABSTRAK

Teknologi pencetakan 3D telah membawa inovasi besar dalam berbagai industri dengan kemampuannya untuk mencetak objek tiga dimensi secara lapis demi lapis. Salah satu material yang digunakan dalam pencetakan 3D adalah filamen TPU-95A, yang dikenal karena kekuatan mekanis dan ketahanannya. Namun, pengaruh variasi parameter cetak seperti, *print speed* dan *nozzle temperature* terhadap sifat mekanis pada filamen TPU-95A masih perlu diteliti lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mempengaruhi *Print speed* dan *Nozzle temperature* terhadap sifat mekanik pada produk 3D *printing* dengan material TPU-95A. Dalam Penelitian ini parameter cetak yang digunakan terbagi menjadi 2 yaitu, parameter tetap dan parameter variasi. Untuk parameter tetap yaitu, *layer height* 0,15 mm, *infill patterns* berjenis *consectric*, *infill density* 100%, dan *bed temperature* 60 °C. Sedangkan parameter variasi yaitu, *print speed* dan *nozzle temperature*. Berdasarkan Hasil penelitian bahwa variasi *Print speed* dan *Nozzle temperature* berpengaruh secara signifikan terhadap kualitas produk yang dicetak. Kombinasi *print speed* 70 mm/s dan *nozzle temperature* 230°C menghasilkan kekerasan tertinggi (79,4 shore A), densitas tertinggi (1,133 g/cm³), dan kekuatan tarik tertinggi (31.258 Mpa). Sedangkan, kombinasi *print speed* 90 mm/s dan *nozzle temperature* 230°C menghasilkan keuletan tertinggi (156,2%).

Kata kunci : 3D *Printing*; Filamen TPU-95A; *Print speed*; *Nozzle temperature*; Sifat mekanik

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kehadiran Tuhan yang Maha Esa atas segala Rahmat, karunia, dan pentunjuk-nya sehingga saya dapat menyelesaikan Penelitian ini dengan lancar. Dalam kesempatan ini, saya ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu dalam Penelitian ini.

Penelitian ini merupakan hasil dari kerja keras, dedikasi, dan bantuan dosen pembimbing, serta pihak-pihak terkait yang mendukung Penelitian ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terimakasih kepada:

1. Tuhan yang maha Esa atas berkat dan rahmatnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Penelitian ini
2. Bapak Kurniawan S.T.,M.Si, selaku rektor Universitas Nusa Putra
3. Bapak Lazuardi Akmal Islami, M.Si, selaku ketua program studi Teknik mesin Universitas Nusa Putra
4. Bapak Dani Mardiyana, S.Pd.,M.T, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam Menyusun peneltian ini.
5. Bapak Zaid Sulaiman, M.T. selaku dosen penguji I, dan Bapak Ir.Fabrobi Fazlur Ridha, B.Eng, M.T., selaku dosen penguji II, yang telah memberikan banyak masukan atau saran selama proses penelitian ini.
6. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan dukungan dan doa.

Tanpa dukungan dan bantuan mereka, Penelitian ini tidak akan terwujud dengan baik. Saya juga mengucapkan terimakasih kepada institusi tempat saya melakukan Penelitian yang telah memberikan fasilitas dan sarana yang diperlukan. Semoga Penelitian ini dapat menjadi pijakan untuk penelitian lebih lanjut yang lebih mendalam dan komprehensif, Terimakasih.

Sukabumi, Juli 2025

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai sivitas akademik UNIVERSITAS NUSA PUTRA, saya akan beertanda tangan dibawah ini:

Nama : Triadesman Gulo

NIM 20210110080

Program Studi: Teknik Mesin

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UNIVERSITAS NUSA PUTRA. **Hak Bebas Royalty Noneksklusif (*Non-Exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

PENGARUH VARIASI *PRINT SPEED* DAN *NOZZLE TEMPERATURE* TERHADAP SIFAT MEKANIK SPESIMEN HASIL *3D PRINTING* MENGGUNAKAN MATERIAL FILAMEN TPU-95A, beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas Royalty Noneksklusif ini Universitas Nusa Putra berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*, merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Sukabumi

Pada tanggal : Juli, 2025

Yang menyatakan,

Triadesman Gulo
Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN COVER.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
PERNYATAAN PENULIS.....	iii
PENGESAHAN SKRIPSI	v
PERSEMBAHAN	vi
ABSTRACK	vii
ABSTRAK.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR ISTILAH.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1. 6. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. 3D Printing.....	6
2.2. Parameter Proses Pencetakan.....	8
2.3. Filamen	9
2.3.1. Filamen TPU-95A.....	11
2.4. Kekerasan Material	12
2.4.1. Densitas.....	14
2.5. Kekuatan Tarik	16
2.6. Keuletan.....	18
2.7. Analisis Statistik	19

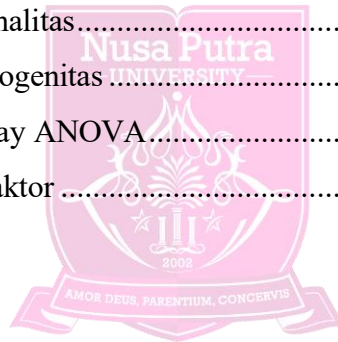
2.7.1. Statistik Deskriptif	20
2.7.2. Uji Normalitas	22
2.7.3. Uji Homogenitas	23
2.7.4. Uji ANOVA	24
2.7.5. Persen Kontribusi	26
2.8. Penelitian Eksperimental	27
2.9. Penelitian Sebelumnya	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1. Diagram alir penelitian	30
3.2. Persiapan Peralatan dan Bahan	30
3.3. Desain spesimen Uji kekerasan ASTM D2240, Uji Densitas D792 dan Kekuatan tarik JIS K6251	36
3.4. Proses Pembuatan Spesimen Uji	37
3.5. Proses Pengujian Spesimen	38
3.5.1. Pengujian Spesimen Kekerasan	38
3.5.2. Pengujian Spesimen Densitas	39
3.5.3. Pengujian Spesimen Tarik	41
3.6. Metode Analisis Data	42
3.6.1. Analisis data uji kekerasan	43
3.6.2. Analisis data uji densitas	45
3.6.3. Analisis data uji tarik dan keuletan	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1. Hasil Uji Kekerasan, Uji Densitas, Uji Tarik dan Keuletan	46
4.1.1. Hasil Uji Kekerasan	46
4.1.2. Hasil Uji Densitas	48
4.1.3. Hasil Pengujian Tarik	51
4.1.4. Hasil Pengujian Keuletan	54
4.2. Hasil Uji Statistik pada Kekerasan	56
4.2.1. Hasil Analisis Standar Deviasi	57
4.2.2. Hasil Uji Normalitas	58
4.2.3. Hasil Uji Homogenitas	58
4.2.4. Hasil Uji <i>Two-Way</i> ANOVA	59
4.2.5. Persen Kontribusi	60
4.3. Pembahasan	62

4.3.1. Pengaruh <i>print speed</i> dan <i>nozzle temperature</i> terhadap kekerasan.....	62
4.3.2. Pengaruh densitas terhadap nilai kekerasan	65
4.3.3. Pengaruh <i>print speed</i> dan <i>nozzle temperature</i> terhadap kekuatan tarik	65
4.3.4. Pengaruh <i>print speed</i> dan <i>nozzle temperature</i> terhadap keuletan	66
BAB V PENUTUP	69
5.1. Kesimpulan	69
5.2. Saran	69
Daftar Pustaka	71



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komponen Utama Mesin 3D Printer [11]	7
Tabel 2. 2 Spesifikasi Filamen TPU-95A [17]	12
Tabel 3. 1. Proses Parameter Cetak	29
Tabel 3. 2. Spesifikasi Mesin 3D Printer.....	32
Tabel 3. 3. Spesifikasi Mesin Uji Tarik.....	35
Tabel 4. 1. Hasil Uji Kekerasan.....	46
Tabel 4. 2. Hasil Penimbangan Spesimen	48
Tabel 4. 3. Hasil Uji Densitas.....	49
Tabel 4. 4. Hasil Uji Tarik.....	52
Tabel 4. 5. Hasil Perpanjangan Spesimen Uji Tarik.....	54
Tabel 4. 6. Hasil Perhitungan Tingkat Keuletan	55
Tabel 4. 7. Deskriptif Statistik.....	57
Tabel 4. 8. Hasil Uji Normalitas.....	58
Tabel 4. 9. Hasil Uji Homogenitas	59
Tabel 4. 10. Hasil Two-way ANOVA.....	59
Tabel 4. 11. Kontribusi Faktor	61



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mesin 3D Printer	6
Gambar 2. 2. <i>Raster angle</i>	9
Gambar 2. 3. Jenis-jenis <i>infill patterns</i>	9
Gambar 2. 4. Skala durometer	13
Gambar 2. 5. Grafik tegangan dan regangan.....	17
Gambar 2. 6. Ilustrasi bentuk patahan hasil uji tarik.....	19
Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian	30
Gambar 3. 2. <i>Laptop</i>	31
Gambar 3. 3. <i>Scraper</i>	31
Gambar 3. 4. Mesin 3D <i>Printer</i>	32
Gambar 3. 5. <i>Durometer hardness test</i>	33
Gambar 3. 6. Jangka sorong	33
Gambar 3. 7. Timbangan digital.....	34
Gambar 3. 8. Mesin uji tarik.....	34
Gambar 3. 9. Filamen TPU-95A	35
Gambar 3. 10. Dimensi spesimen uji ASTM D2240	36
Gambar 3. 11. Dimensi Spesimen Uji densitas	37
Gambar 3. 12. Dimensi spesimen uji tarik JIS K6251-2017	37
Gambar 3. 13: Proses pengaturan parameter pada <i>software Ultimaker cura</i>	38
Gambar 3. 14: Hasil 3D printing	38
Gambar 3. 15: (a). <i>Durometer shore A</i> , (b). Proses pengujian.....	39
Gambar 3. 16. Ilustrasi Pengujian	39
Gambar 3. 17: (a) Penimbangan spesimen di udara, (b) Penimbangan di air.....	40
Gambar 3. 18. Pengukuran suhu metanol.....	41
Gambar 3. 19. Spesimen setelah diuji	42
Gambar 4. 1. Grafik rata-rata kekerasan.....	47
Gambar 4. 2. Hubungan densitas terhadap kekerasan berdasarkan <i>print speed</i>	49
Gambar 4. 3 Hubungan densitas terhadap kekerasan berdasarkan <i>nozzle temperature</i>	50
Gambar 4. 4. Grafik rata-rata kekuatan tarik.....	53
Gambar 4. 5. Grafik rata-rata keuletan	55

Gambar 4. 6. Ilustrasi Pengaruh <i>Print Speed</i> terhadap Ikatan Antar Lapisan dan Kekerasan Material TPU-95A	63
Gambar 4. 7. Ilustrasi Pengaruh <i>Nozzle temperature</i> terhadap Ikatan Antar Lapisan dan Kekerasan Material TPU-95A.....	64



DAFTAR ISTILAH

3D	: Tiga Dimensi
FDM	: <i>Fused Deposition Modeling</i>
TPU	: <i>Thermoplastic Polyurethane</i>
TPU-95A	: <i>Thermoplastic Polyurethane</i> dengan kekerasan Shore A 95
mm/s	: Milimeter per detik (satuan kecepatan cetak)
°C	: Derajat Celcius (satuan suhu)
MPa	: <i>Megapascal</i> (satuan tegangan/kekuatan tarik)
ASTM	: <i>American Society for Testing and Materials</i>
JIS	: <i>Japanese Industrial Standards</i>
CV	: <i>Coefficient of Variation</i> (Koefisien Variasi)
ANOVA	: <i>Analysis of Variance</i>
G-code	: <i>Geometry Code</i> (kode perintah untuk printer 3D)
LCD	: <i>Liquid Crystal Display</i> (layar panel kontrol printer)
PSU	: <i>Power Supply Unit</i>
SD Card	: <i>Secure Digital Card</i>
SST	: <i>Sum of Squares Total</i>
SSB	: <i>Sum of Squares Between</i>
SSW	: <i>Sum of Squares Within</i>
MSB	: <i>Mean Square Between</i>
MSW	: <i>Mean Square Within</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam era teknologi yang berkembang pesat, inovasi menjadi salah satu elemen penting yang mendorong kemajuan dalam berbagai sektor industri. Salah satu teknologi yang telah memberikan dampak signifikan adalah 3D *printing* atau dikenal juga sebagai pencetakan tiga dimensi. Teknologi ini memungkinkan pembuatan objek fisik berdasarkan desain digital dengan cara menyusun lapisan material secara bertahap. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan solusi manufaktur yang cepat, fleksibel, dan efisien, 3D *printing* telah berkembang menjadi metode produksi yang populer dan andal [1],[2],[3]. Metode pencetakan 3D menawarkan berbagai keunggulan, termasuk kemampuan untuk mencetak objek dengan geometri kompleks yang sulit dicapai oleh metode konvensional.

Selain itu, teknologi ini memberikan fleksibilitas dalam memilih material, seperti plastik, polimer elastomer dan material lainnya. Dalam manufaktur modern, pencetakan 3D telah diaplikasikan dalam berbagai industri seperti otomotif, kesehatan dan elektronik. Salah satu metode pencetakan 3D yang paling banyak digunakan adalah *Fused Deposition Modeling* (FDM), sebuah teknologi yang memanfaatkan filamen termoplastik sebagai material dasar yang dilelehkan dan disusun lapis demi lapis sesuai desain digital [4],[5].

Salah satu material yang menarik perhatian dalam pencetakan FDM adalah *Thermoplastic Polyurethane* (TPU), khususnya TPU dengan kekerasan 95A. TPU-95A adalah material elastomerik yang dikenal karena fleksibilitasnya yang tinggi, ketahanan terhadap abrasi, serta kemampuannya untuk menahan bahan kimia. Material ini sering digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan kombinasi antara kekuatan mekanik dan fleksibilitas, seperti suku cadang fleksibel, alat medis, casing perangkat elektronik, dan barang konsumen lainnya. Dalam proses pencetakan 3D, pemanfaatan TPU-95A menawarkan peluang besar untuk menghasilkan produk yang tidak hanya fungsional tetapi juga memiliki durabilitas yang tinggi.

Meskipun TPU 95A, memiliki keunggulan dalam fleksibilitas, ketahanan terhadap abrasi dan bahan kimia, namun kualitas hasil cetak 3D sangat tergantung pada pengaturan parameter pencetakan, diantaranya seperti kecepatan cetak (*print*

speed dan *nozzle temperature*). Dimana, kecepatan cetak menentukan seberapa cepat material filamen dilelehkan dan menumpuk lapisan demi lapisan, sedangkan *nozzle temperature* menentukan viskositas material dan tingkat pendinginan. Parameter pencetakan merupakan pengaturan yang dapat diubah-ubah dalam proses pencetakan diantaranya seperti, *layer height*, *print speed*, *infill density*, *nozzle temperature*, *bed temperature*, dan *infill patterns*.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa variasi parameter pencetakan dapat memengaruhi sifat mekanik material hasil cetakan 3D. Misalnya, penelitian terkait dengan material PLA dan ABS telah mengungkapkan bahwa kombinasi parameter tertentu dapat meningkatkan kekuatan tarik, kekerasan, dan keuletan produk. Namun, penelitian khusus mengenai pengaruh *print speed* dan *nozzle temperature* terhadap sifat mekanik material TPU-95A masih terbatas. Material ini memiliki karakteristik unik yang membutuhkan pendekatan penelitian yang spesifik untuk memahami hubungan antara parameter pencetakan dan sifat mekaniknya [6],[7].

Berdasarkan latar belakang diatas Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh *print speed* dan *nozzle temperature* terhadap sifat mekanik produk hasil pencetakan *printer* 3D menggunakan material filamen TPU-95 A.



1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat dirumuskan masalah pada penelitian ini, yaitu;

1. Bagaimana pengaruh kombinasi parameter *print speed* dan *nozzle temperature* terhadap kekerasan spesimen 3D *printing* filamen TPU-95A?
2. Apakah *print speed* dan *nozzle temperature* berpengaruh secara signifikan terhadap kekerasan material filamen TPU-95A berdasarkan uji *two-way ANOVA*?
3. Bagaimana pengaruh kombinasi parameter *print speed* dan *nozzle temperature* terhadap kekuatan tarik spesimen 3D *printing* filamen TPU-95A?
4. Bagaimana pengaruh kombinasi parameter *print speed* dan *nozzle temperature* terhadap keuletan spesimen 3D *printing* filamen TPU-95A?

1.3. Batasan Masalah

Ada beberapa batasan masalah atau faktor-faktor yang diabaikan selama proses penelitian ini:

1. Penelitian ini hanya menggunakan filamen TPU-95A dalam proses 3D *printing*.
2. Penelitian ini hanya akan fokus pada pengaruh *print speed* dan *nozzle temperature*. Faktor lain yang mungkin mempengaruhi hasil cetak, seperti *infill density*, *layer height*, *infill pattern* dan *bed temperature*, akan diabaikan atau dijadikan konstan.
3. Pada penelitian ini hanya berfokus pada variabel utama, yaitu: kekerasan, kekuatan tarik, dan keuletan. Sementara uji densitas dilakukan hanya sebagai pendukung data uji kekerasan.
4. Penelitian ini hanya melakukan analisis statistik pada hasil uji kekerasan.
5. Penelitian ini tidak mempertimbangkan faktor-faktor eksternal seperti suhu lingkungan atau kelembaban udara yang dapat memengaruhi proses pencetakan dan kualitas hasilnya.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, dapat disimpulkan beberapa tujuan penelitian ini, sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh kombinasi parameter *print speed* dan *nozzle temperature* terhadap kekerasan spesimen hasil pencetakan 3D menggunakan filamen TPU-95A.
2. Mengetahui apakah parameter *print speed* dan *nozzle temperature* berpengaruh secara signifikan terhadap kekerasan material filamen TPU-95A berdasarkan analisis *two-way ANOVA*.
3. Mengetahui pengaruh kombinasi parameter *print speed* dan *nozzle temperature* terhadap kekuatan tarik spesimen 3D *printing* berbahan filamen TPU-95A.
4. Mengevaluasi pengaruh kombinasi parameter *print speed* dan *nozzle temperature* terhadap keuletan spesimen hasil cetak 3D menggunakan filamen TPU-95A.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun yang menjadi manfaat dilakukannya penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman tentang pengaruh parameter *print speed* dan *nozzle temperature* terhadap sifat mekanik produk 3D *printing* menggunakan filamen TPU-95A.
2. Memberikan panduan praktis bagi para pengguna 3D *printer* yang menggunakan material filamen TPU-95A dalam memilih parameter pencetakan yang tepat untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.
3. Berpotensi untuk meningkatkan kualitas produk 3D *printing* berbahan filamen TPU-95A dengan parameter pencetakan, sehingga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan ketahanan dan kekuatan mekanis yang tinggi.

1.6. Sistematika Penulisan

Penelitian ini terdiri dari 5 BAB, yang mana isi dari setiap BAB tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menyajikan latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas beberapa teori dasar dari *3D Printing*, parameter, filamen, kekerasan, densitas, kekuatan tarik, keuletan dan penelitian eksperimen

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini ini membahas diagram alir penelitian, alat, bahan, proses pembuatan spesimen uji, prosedur uji ATSM D2240, uji ASTM D792 dan prosedur uji JIS K6251.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang hasil yang diperoleh pada pengujian kekerasan, densitas, kekuatan tarik dan keuletan pada hasil *3D printing* filamen TPU-95A.

BAB PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan, saran, referensi, serta lampiran



BAB V

PENUTUP

Setelah menganalisis data hasil pengujian spesiman, dapat disimpulkan hasil penelitian ini, dimana;

1. *Print speed* dan *nozzle temperature* berpengaruh signifikan terhadap kekerasan material filamen TPU-95A. Hal ini dibuktikan melalui uji *Two-Way ANOVA* yang menghasilkan nilai signifikansi (*p-value*) < 0,05. Uji normalitas *Shapiro-Wilk* dan homogenitas *Levene's Test based on mean* juga menunjukkan bahwa data memenuhi asumsi ANOVA.
2. Kombinasi parameter *print speed* dan *nozzle temperature* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan spesimen TPU-95A. Kombinasi terbaik dalam penelitian diperoleh pada *print speed* 70 mm/s dan *nozzle temperature* 230°C, yang menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar 79,4 Shore A.
3. Pengaruh kombinasi *print speed* dan *nozzle temperature* juga terlihat pada spesimen kekuatan tarik. Kombinasi parameter 70 mm/s dan 230°C menghasilkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 31,258 MPa, menunjukkan bahwa parameter pencetakan memengaruhi kekuatan mekanis secara signifikan.
4. Keuletan spesimen TPU-95A paling tinggi diperoleh pada kombinasi *print speed* 90 mm/s dan *nozzle temperature* 230°C, dengan nilai keuletan mencapai 156,2%, yang menunjukkan bahwa keuletan cenderung meningkat dengan kecepatan cetak yang lebih tinggi.

5.2. Saran

1. Dalam penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengevaluasi pengaruh pola infill (*infill pattern*) dan tingkat kepadatan infill (*infill density*) terhadap kekerasan, kekuatan tarik dan keuletan spesimen. Karena faktor ini dapat memberikan wawasan tambahan tentang bagaimana struktur internal mempengaruhi sifat mekanik material TPU-95A.
2. Disarankan untuk meneliti pengaruh sistem pendinginan pada hasil cetakan. Misalnya, dengan memvariasikan aliran udara kipas pendingin

selama proses pencetakan, karena ini dapat memengaruhi tingkat kohesi antar lapisan dan hasil akhir.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Kumara, S. Putra, M. A. Ds, R. Sari, and S. Ds, “Seminar Nasional Sistem Informasi dan Teknologi Informasi 2018 SENSITEK 2018 STMIK Pontianak,” 2018. [Online]. Available: <http://www.insinyoer.com/wp->
- [2] Anief Awalia Nurul Amri and Wirawan Sumbodo, “PERANCANGAN 3D PRINTER TIPE CORE XY BERBASIS FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) MENGGUNAKAN SOFTWARE AUTODESK INVENTOR 2015 ,” *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 110–115, Oct. 2018.
- [3] Frans Jusuf Daywin, Didi Widya Utama, Wilson Kosasih, and Kevin William, “PERANCANGAN MESIN 3D PRINTER DENGAN METODE REVERSE ENGINEERING ,” *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. 7, no. 2, pp. 79–89, 2019.
- [4] J. Teknik Mesin and P. Manufaktur Negeri Bangka Belitung, “Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex,” *Jurnal Teknologi Manufaktur*, vol. 11, no. 01, 2019.
- [5] Redy, Hasdiansah, and Zaldy Sirwansyah Suzen, “Optimasi Parameter Produk 3D Printing Terhadap Kuat Tarik Menggunakan Filamen TPU (Thermoplastic Polyurethane),” *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 1, no. 2, pp. 312–317, Aug. 2023.
- [6] J. H. Panjaitan, M. Tampubolon, F. Sihombing, and J. Simanjuntak, “Pengaruh Kecepatan, Temperatur dan Infill Terhadap Kualitas dan Kekasaran Kotak Relay Lampu Sign Sepedamotor Hasil dari 3D Printing,” vol. 2, no. 2, 2021.
- [7] F. Putra Bowo, Z. Sirwansyah Suzen, and Y. Oktriadi, “Pengaruh Infill Geometry, Printing Speed dan Nozzle Temperature terhadap Kekuatan Impak Menggunakan Filamen ST PLA,” *Jurnal Syntax Admiration*, vol. 2, no. 7, pp. 1257–1268, Jul. 2021, doi: 10.46799/jsa.v2i7.265.
- [8] J. Excell, “The rise of additive manufacturing . The Engineer. 2013,” 2013.
- [9] Anief Awalia Nurul Amri and Wirawan Sumbodo, “PERANCANGAN 3D PRINTER TIPE CORE XY BERBASIS FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) MENGGUNAKAN SOFTWARE AUTODESK INVENTOR 2015,” *Dinamika Vokasional Teknik Mesin Volume 3 Nomor 2 Oktober 2018* <https://journal.uny.ac.id/index.php/dynamika/issue/view/1599> Hal 110-115, Oct. 2018.

- [10] D. J. Cordova, A. A. Rodriguez, S. C. Woodward, and C. O. Crosby, "The Enderstruder: An accessible open-source syringe extruder compatible with Ender series 3D printers," *HardwareX*, vol. 17, p. e00510, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.ohx.2024.e00510.
- [11] Creality, "Ender 3 Pro Technical Specifications," Creality-Official. Accessed: Jul. 23, 2025. [Online]. Available: <https://www.creality.com/>.
- [12] G. Gao, F. Xu, J. Xu, G. Tang, and Z. Liu, "A Survey of the Influence of Process Parameters on Mechanical Properties of Fused Deposition Modeling Parts," *Micromachines (Basel)*, vol. 13, no. 4, p. 553, Mar. 2022, doi: 10.3390/mi13040553.
- [13] "Understanding the Infill - BCN3D Stratos," *Sumber: BCN3D Technologies Support Team, Understanding the Infill, support.bcn3d.com, diakses pada 12:49, 24 Juli 2025.*
- [14] Muhammad Rezha Assalam, Rifky Ismail, Athanasius Prihartoyo Bayuseno, and Deni Fajar Fitriyana, "PENGARUH SUHU PEMBUATAN FILAMEN BIOKOMPOSIT (PCL/PLA/HA) MENGGUNAKAN MESIN SCREW EXTRUDER," *Jurnal Teknik Mesin S-I*, vol. 11, no. 3, pp. 11–16, 20223.
- [15] Lubrizol / Forerunner 3D Printing, "TPU Chemical Compatibility / Resistance for 3D Printed Parts," Accessed: Jul. 26, 2025. [Online]. Available: <https://forerunner3d.com/tpu-chemical-compatibility-resistance-for-3d-printed-parts>
- [16] Wikipedia contributors, "Thermoplastic Polyurethane," Accessed: 26 Jul. 2025, [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoplastic_polyurethane
- [17] Settrerox, "eSUN TPU-HS Filament," Accessed: Jun. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.setterox.ae/products/esun-etpu-hs?variant=44602774159417>
- [18] E. Broitman, "Indentation Hardness Measurements at Macro-, Micro-, and Nanoscale: A Critical Overview," Mar. 01, 2017, *Springer Science and Business Media, LLC*. doi: 10.1007/s11249-016-0805-5.
- [19] M. D. Stelescu *et al.*, "Mechanical Properties and Equilibrium Swelling Characteristics of Some Polymer Composites Based on Ethylene Propylene Diene Terpolymer (EPDM) Reinforced with Hemp Fibers," *Materials*, vol. 15, no. 19, Oct. 2022, doi: 10.3390/ma15196838.
- [20] Andreas Velling, "Material Hardness – Types, Testing Methods & Units," Jun. 16, 2020.

- [21] Leslie Langnau, "13 common mechanical and thermal properties of 3D printing materials," Engineering.com.
- [22] Mohammad Istajarul Alim, "Densitas dan Porositas Batuan," no. DOI: 10.13140/RG.2.2.21184.89607, Jan. 2020.
- [23] I Gede Tawan, I K Suarana, and I G N. N Santiharsa, "Pengaruh Waktu Penahanan Dan Temperatur Sintering Komposit Al Matrik Dengan Penguat Al203+ SiCw Terhadap Sifat Densitas Dan Kekerasan," *Jurnal Ilmiah TEKNIK DESAIN MEKANIKA*, vol. 8, no. 02, pp. 512–516, Apr. 2019.
- [24] N. Rohmah, Y. Yushardi, and S. Sudarti, "UJI DENSITAS DAN POROSITAS SERTA KARAKTERISASI BATU ANDESIT LETUSAN GUNUNG SEMERU DI DESA SUMBERULUH KECAMATAN CANDIPURO KABUPATEN LUMAJANG," *SILAMPARI JURNAL PENDIDIKAN ILMU FISIKA*, vol. 5, no. 2, pp. 226–237, Dec. 2023, doi: 10.31540/sjpif.v5i2.2434.
- [25] Hyun-Bum Kim and Masafumi Niwano, "Experimental Investigation of Carbon Fiber-reinforced Plastic Bonded with a DP6330NS Urethane Adhesive Using Single Lap-shear Joints under Fatigue Loading," *Journal of Adhesion and Interface*, vol. 25, no. 4, pp. 128–134, Oct. 2024.
- [26] Eka Cahya Muliawati *et al.*, "Literature Review Peran Plasticizer dalam Meningkatkan Kinerja Bioplastik Berbasis Kitosan," *JURNAL TECNOSCIENZA*, vol. 9, no. 2, pp. 330–344, Apr. 2025.
- [27] Yohanes, Erikson Siregar, Anita Susilawati, and Muftil Badri, "Performance Analysis of Flywheel Addition on Drive System of Rotary Friction Welding Machine," *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace*, vol. 52, no. 1, pp. 14–19, Feb. 2018.
- [28] J. Hasil Karya Ilmiah, D. Joko Purnomo, S. Jokosisworo, and U. Budiarto, "JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Analisa Pengaruh Holding Time Tempering Terhadap Kekerasan, Keuletan, Ketangguhan dan Struktur Mikro Pada Baja ST 70," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 07, no. 1, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [29] Rizki Oktapian, Rizki Aulia Nanda, and Muhamad Taufik Ulhakim, "Penerapan Simulasi Finite Element Terhadap Material Polylactic Acid Untuk Aplikasi Deker Kaki," *A R M A T U R : Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, vol. 5, no. 2722–0796, Sep. 2024.

- [30] n .R. Unecha, s .S. Jagtap, A.Ghatge, s .S. Manjare, and s .M. Patil, "Design and Analysis of Variable Message Sign Pole Structure," *IOSR Journals*, pp. 2278–1684, 2018.
- [31] Ruth Padmore, Katryna Petersen, Chris Campbell, Manon Chennette, Ann Sabourin, and Julie Shaw, "Practical application of mathematical calculations and statistical methods for the routine haematology laboratory," *Int J Lab Hematol*, vol. 44, no. 1, pp. 11–20, Jun. 2022.
- [32] Zulfiqar Ali and S Bala Bhaskar, "Basic statistical tools in research and data analysis," *Indian J Anaesth*, vol. 60, no. 9, pp. 54–66, Sep. 2016.
- [33] Nornadiah Mohd Razali and Yap Bee Wah, "Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests," *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, vol. 2, no. 1, pp. 21–33, 2011.
- [34] J. L. Gastwirth, Y. R. Gel, and W. Miao, "The Impact of Levene's Test of Equality of Variances on Statistical Theory and Practice," *Statistical Science*, vol. 24, no. 3, Aug. 2009, doi: 10.1214/09-STS301.
- [35] Csaba Felh "o, Frezgi Tesfom, and Gyula Varga, "ANOVA Analysis and L9 Taguchi Design for Examination of Flat Slide Burnishing of Unalloyed Structural Carbon Steel," *Manufacturing and Materials Processing*, vol. 7, no. 4, Jul. 2023.
- [36] Reza Syahputra, Muhammad Sayuti, Fatimah, and Sri Mutia, "The Effect of Natural Fiber Percentage on the Tensile Strength of Paper Using ANOVA," *International Journal of Engineering, Science & Information Technology (IJESTY)*, vol. 3, no. 2, pp. 72–76, 2023.
- [37] Abdullah Naseer Mustapha, Yan Zhang, Zhibing Zhang, Yulong Ding, Qingchun Yuan, and Yongliang Li, "Taguchi and ANOVA analysis for the optimization of the microencapsulation of a volatile phase change material," *Journal of Materials Research and Technology*, Jan. 2021.
- [38] Amat Jaedun, Puslit Dikdasmen, and Lemlit UNY, "METODOLOGI PENELITIAN EKSPERIMEN," *Makalah Disampaikan Pada Kegiatan In Service I Pelatihan Penulisan Artikel Ilmiah, yang Diselenggarakan oleh LPMP Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta*, Jun. 2011.
- [39] Eduar Iqbal Rizaa, Cahyo Budiyanoro, and Aris Widyo Nugroho, "PENINGKATAN KEKUATAN LENTUR PRODUK 3D PRINTING MATERIAL PETG DENGAN OPTIMASI PARAMETER PROSES MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI," *Media Mesin : Majalah Teknik Mesin*, vol. 21, no. 2, pp. 66–75, Jul. 2020.

- [40] J. H. Panjaitan, M. Tampubolon, F. Sihombing, and J. Simanjuntak, "Pengaruh Kecepatan, Temperatur dan Infill Terhadap Kualitas dan Kekasaran Kotak Relay Lampu Sign Sepedamotor Hasil dari 3D Printing," vol. 2, no. 2, 2021.
- [41] J. Xiao and Y. Gao, "The manufacture of 3D printing of medical grade TPU," *Progress in Additive Manufacturing*, vol. 2, no. 3, pp. 117–123, Sep. 2017, doi: 10.1007/s40964-017-0023-1.
- [42] Shore Hardness Test ISO 48-4, ASTM D2240 <https://www.zwickroell.com/industries/plastics/thermoplastics-and-thermosetting-molding-materials/hardness-testing/shore-hardness-test/> Diakses pada, 20-07-2024, Pukul 10:00 WIB."
- [43] Verlian and Zaid Sulaiman, "Pengaruh Kadar Perendaman Kalium Permanganat terhadap Kekuatan Komposit Fiber Bambu Betung dengan Metode Hand Lay Up ," Dec. 2023.
- [44] JISK6251:2017 "Karet Vulkanisir dan Karet Termoplastik - Cara menentukan sifat tarik" <https://kikakurui.com/k6/K6251-2017-01.html>. Diakses pada, 05-07-2024, Pukul 09:34 WIB."
- [45] American Society for Testing and Materials, "ASTM D2240-15 Standard Test Methods for Rubber Property-Durometer Hardness," *Annu. B. ASTM Stand.*, no. doi: 10.1520/D2240-15.2., pp. 1–13, 2015.
- [46] Dani Mardiyana, Dodi Iwan Sumarno, Muchtar Ali Setyo Yudono, and Lazuardi Akmal Islami, "Kajian Kelayakan Sifat Mekanik Produk 3D Printing FDM Berfilamen eFlex TPU-95A untuk Aplikasi Polisi Tidur," *dkk /Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 19, no. 03, pp. 457–468, Dec. 2024.
- [47] Shivashankar Hiremath, Jodrine Felix Dsouza, Dundesh S. Chiniwar, Vishwanatha H M, and B Mallikarjuna, "Exploring the impact of epoxy coated 3D-Printed polymers on surface roughness and mechanical behavior: An experimental and numerical study," *Results in Engineering*, vol. 23, Aug. 2024.
- [48] Albert Curmi and Arif Rochman, "Screw material extrusion of super soft thermoplastic elastomer for additive manufacturing of inflatables," *Virtual Phys Prototyp*, vol. 20, no. 1, p. 18, Jan. 2025.
- [49] Fuhui Zhu, Xifeng Li, Heli Peng, Hongkai Zhao, Liangtong Xiong, and Jun Chen, "Analytical approaches to describe diffusion bonding of similar and dissimilar materials," *Science and Technology of Welding and Joining*, no. <https://doi.org/10.1080/13621718.2020.1796299>, Jul. 2020.

- [50] A. A. Ansari and M. Kamil, “Effect of print speed and extrusion temperature on properties of 3D printed PLA using fused deposition modeling process,” in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2021, pp. 5462–5468. doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.137.
- [51] M. Takano, K. Takamatsu, and H. Saito, “High-Strength Heat-Elongated Thermoplastic Polyurethane Elastomer Consisting of a Stacked Domain Structure,” *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 7, p. 1470, Apr. 2022, doi: 10.3390/polym14071470.
- [52] P. Awasthi, A. Kumar, P. M. Pandey, and S. S. Banerjee, “Optimization of process parameters of 3D printed thermoplastic elastomeric materials using statistical modeling with particular reference to mechanical properties and print quality,” *Functional Composite Materials*, vol. 5, no. 1, p. 6, Apr. 2024, doi: 10.1186/s42252-024-00055-5.

