

**PENGARUH *PRINT SPEED* DAN *LAYER HEIGHT* TERHADAP SIFAT
MEKANIK PADA SPESIMEN 3D *PRINTING FILAMENT* TPU-95A**

SKRIPSI

RIZAL LESMANA

20210110029



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

**PENGARUH *PRINT SPEED* DAN *LAYER HEIGHT* TERHADAP SIFAT
MEKANIK PADA SPESIMEN 3D *PRINTING FILAMENT* TPU-95A**

SKRIPSI

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

RIZAL LESMANA

20210110029



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK, KOMPUTER, DAN DESAIN
UNIVERSITAS NUSA PUTRA SUKABUMI**

2025

PERNYATAAN PENULIS

JUDUL : PENGARUH *PRINT SPEED* DAN *LAYER HEIGHT*
TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA SPESIMEN 3D
PRINTING FILAMENT TPU-95A

NAMA : RIZAL LESMANA

NIM : 20210110029

“Saya menyatakan dan bertanggung jawab 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, 17 Juli 2025



PERSETUJUAN SKRIPSI

JUDUL : PENGARUH *PRINT SPEED* DAN *LAYER HEIGHT*
TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA SPESIMEN 3D
PRINTING FILAMENT TPU-95A

NAMA : RIZAL LESMANA

NIM : 20210110029

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui

Sukabumi, 17 Juli 2025

Ketua Program Studi
Teknik Mesin

Pembimbing

(Lazuardi Akmal Islami, M.Si.)

NIDN: 0415039402

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

NIDN. 0429038703



PENGESAHAN SKRIPSI

JUDUL : PENGARUH *PRINT SPEED* DAN *LAYER HEIGHT*
TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA SPESIMEN 3D
PRINTING FILAMENT TPU-95A

NAMA : RIZAL LESMANA

NIM : 20210110029

Skripsi ini telah diujikan dan dipertahankan didepan Dewan penguji pada sidang skripsi tanggal 11 Juli 2025. Menurut pandangan kami, skripsi ini memadai dari segi kualitas untuk tujuan penganugerahan gelar Sarjana Teknik (S.T).

Sukabumi, 17 Juli 2025

Dosen Pembimbing

Penguji I

(Ir. Dani Mardiyana, S.PD., M.T.)

NIDN. 0429038703

Penguji II

(Lazuardi Akmal Islami, M.Si.)

NIDN:0415039402

Ketua Program Studi Teknik Mesin



(Prof. Abd Rahman bin Abd Rahim)

NIP: 0120240041

Dekan Fakultas *Engineering, Computer and Design*

(Lazuardi Akmal Islami, M.Si.)

NIDN: 0415039402

(Ir. Paikun ST., MT., IPM., ASEAN Eng)

NIDN: 0402037401

PERSEMBAHAN

Skripsi ini dipersembahkan untuk:

“My Family”

Skripsi ini saya persembahkan untuk keluarga tercinta, sebagai sumber kekuatan dan semangat dalam setiap langkah perjuangan akademik saya. Kepada kedua orang tua saya yang telah memberikan kasih sayang tanpa ada batas, disertai doa yang tak pernah putus, serta pengorbanan yang tidak ternilai, sebagai wujud rasa syukur dan dedikasi kepada semua yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan hidup dan pendidikan saya. *My Family* adalah alasan terkuat saya untuk terus berjuang.

Untuk kampung halamanku, tempat saya tumbuh dan mengenal kehidupan di mana saya menyadari bahwa pendidikan adalah kunci perubahan. Melalui dunia perkuliahan, saya memahami betapa pentingnya ilmu untuk masa depan, terlebih di lingkungan yang masih minim akan akses Pendidikan, yang dimana generasi muda putus sekolah ditengah jalan karena salah satu faktor ekonomi dengan beralih mengambil pekerjaan sebagai pengrajin kukumul (pelampung pancing). Semoga karya ini menjadi langkah kecil yang membawa harapan besar bagi generasi selanjutnya di kampung saya.

Untuk semua dosen Teknik Mesin yang telah membimbing saya, terima kasih atas ilmu, inspirasi, dan semangat yang diberikan. Dan untuk diriku sendiri terima kasih telah bertahan sejauh ini. Perjalanan ini belum berakhir, tapi kamu telah membuktikan bahwa mimpi itu layak diperjuangkan.

Semangat Rizal skripsinya ...

Man Shabara zhafira

“Barang Siapa yang Bersabar, Maka dia akan beruntung”

ABSTRACT

The development of Industry 4.0 technology in the manufacturing sector has led to the creation of high-quality and innovative products, particularly in 3D printing technology. This study aims to investigate the effect of varying print speed and layer height parameters on the mechanical properties of 3D printed products using TPU-95A filament. Print speed and layer height are key parameters in the Fused Deposition Modeling (FDM) process that influence the characteristics of the final product, especially in terms of hardness, tensile strength, and elongation. In this research, print speeds of 70 mm/s, 80 mm/s, and 90 mm/s, as well as layer heights of 0.15 mm and 0.2 mm, were used. Hardness testing was conducted according to the ASTM D2240 standard, while tensile testing followed the JIS K6251:2017 standard. The results showed that the combination of a 70 mm/s print speed and a 0.15 mm layer height produced the highest hardness value of 78,4 Shore A and the maximum tensile strength of 27.003 MPa. The highest elongation value of 145,5% was obtained from the combination of an 80 mm/s print speed and a 0.2 mm layer height. Statistical analysis using Two-Way ANOVA indicated that both print speed and layer height significantly affected hardness values ($p < 0.05$). Based on this study, it can be concluded that proper adjustment of printing parameters plays a crucial role in enhancing the mechanical quality of 3D-printed products made from TPU-95A.

Keywords: 3D Printing, TPU-95A, Print Speed, Layer Height, Hardness, Tensile Strength, Elongation.

ABSTRAK

Perkembangan teknologi industri 4.0 di bidang manufaktur menciptakan suatu produk berkualitas dan inovatif untuk produk teknologi 3D *printing*. Pada penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh variasi parameter *print speed* dan *layer height* terhadap sifat mekanik hasil cetakan 3D *printing* menggunakan material TPU-95A. Parameter *print speed* dan *layer height* faktor utama dalam proses *Fused Deposition Modeling* (FDM) yang mempengaruhi karakteristik hasil produk, khususnya pada aspek kekerasan, kekuatan tarik, dan keuletan. Penelitian ini, digunakan variasi *print speed* sebesar 70 mm/s, 80 mm/s, dan 90 mm/s, serta *layer height* sebesar 0,15 mm dan 0,2 mm. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode ASTM D2240, sedangkan pengujian tarik mengacu pada standar JIS K6251:2017. Hasil pengujian menunjukkan kombinasi *print speed* 70 mm/s dan *layer height* 0,15 mm menghasilkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 78,4 Shore A dan kekuatan tarik maksimum sebesar 27,003 MPa. Adapun nilai keuletan tertinggi sebesar 145,5% diperoleh pada kombinasi *print speed* 90 mm/s dan *layer height* 0,2 mm. Hasil data analisis statistik dengan *Two-Way ANOVA* menunjukkan *print speed* dan *layer height* berpengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan ($p < 0,05$). Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pengaturan parameter cetak yang tepat berperan penting dalam meningkatkan kualitas sifat mekanik pada spesimen 3D *printing* berbahan TPU-95A.

Kata kunci: 3D *Printing*, TPU-95A, *Print Speed*, *Layer Height*, Kekerasan, Kekuatan Tarik, Keuletan.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, Atas segala berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Tujuan penulisan laporan ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Pendidikan Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Mesin di UNIVERSITAS NUSA PUTRA.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah mendukung dalam penyusunan laporan ini. Ucapan terimakasih ini penulis tunjukkan kepada Yth :

1. Bapak Dr. Kurniawan ST.,M.Si.,MM selaku Rektor Universitas Nusa Putra.
2. Bapak Anggy Pradiftha Junfithrana, S.Pd., M.T selaku Wakil Rektor I Bidang Akademik Universitas Nusa Putra.
3. Bapak Lazuardi Akmal Islami, M.Si selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin.
4. Bapak Dani Mardiyana S.Pd., M.T. selaku dosen pembimbing I Universitas Nusa Putra Sukabumi, yang telah memberikan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing saya dalam penyusunan skripsi ini.
5. Para dosen program Studi Teknik mesin Universitas Nusa Putra
6. Kedua Orang tua dan Keluarga yang selalu memberikan support, memotivasi dalam menempuh pendidikan.
7. Rekan-rekan mahasiswa yang telah memberikan *support*

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dan keterbatasan ilmu pengetahuan yang dimiliki. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran guna menambah kesempurnaan skripsi ini dimasa yang akan datang.

Sukabumi, 17 Juli 2025

Penulis
Rizal Lesmana

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIK**

Sebagai civitas akademik UNIVERSITAS NUSA PUTRA, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rizal Lesmana

NIM 20210110029

Program Studi : Teknik Mesin

Jenis Karya : Skripsi

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

PENGARUH *PRINT SPEED* DAN *LAYER HEIGHT* TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA SPESIMEN *3D PRINTING FILAMENT* TPU-95A beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti 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 : 17 Juli 2025

Yang menyatakan

(Rizal Lesmana)

DAFTAR ISI

PERNYATAAN PENULIS	ii
PERSETUJUAN SKRIPSI	iii
PENGESAHAN SKRIPSI	iv
PERSEMBAHAN	v
ABSTRACT	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	viii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Mesin <i>3D Printing</i>	6
2.2 Parameter <i>3D Printing</i>	7
2.3 <i>Filament</i>	11
2.4 Uji Kekerasan.....	13
2.4.1 Pengujian Kekerasan Pada Material Karet Elastomer.....	13
2.4.2 Uji Densitas.....	15
2.5 Uji Tarik.....	17
2.5.1 Uji tarik Pada Perhitungan Tegangan Regangan.....	18
2.5.2 Keuletan (<i>Ductility</i>).....	19
2.6 Analisis Statistik Pada Uji Kekerasan.....	21
2.6.1 Statik Deskriptif.....	21

2.6.2 Uji Normalitas	23
2.6.3 Uji Homogenitas	23
2.6.4 Analisis ANOVA	24
2.6.5 <i>Persentase</i> Kontribusi	26
2.7 Penelitian Eksperimen	27
2.8 Penelitian Sebelumnya.....	27
BAB III METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Diagram Alir.....	29
3.2 Studi Literatur	31
3.3 Persiapan Bahan dan Peralatan	31
3.3.1 Bahan	31
3.3.2 Peralatan.....	32
3.4 Desain Spesimen Uji Kekerasan ASTM D2240, Uji Tarik JIS K6251:2017 dan Uji Densitas ASTM D729.....	39
3.5 Proses Pembuatan Spesimen.....	40
3.6 Proses Pengujian Spesimen	44
3.6.1 Pengujian Kekerasan ASTM D2240.....	44
3.6.2 Pengujian Spesimen Densitas ASTM D792.....	46
3.6.3 Pengujian Tarik JIS K6251:2017.....	48
3.7 Metode Analisis Data	50
3.7.1 Analisis Data Uji Kekerasan	51
3.7.2 Analisis Data Uji Densitas	53
3.7.3 Analisis Data Uji Tarik dan Keuletan	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	54
4.1 Hasil Pengujian Kekerasan.....	54
4.1.1 Hasil Uji Densitas	56
4.2 Hasil Pengujian Tarik	59
4.2.1 Hasil Nilai Keuletan (<i>Ductility</i>)	62
4.3 Analisis Stastistik Pada Uji Kekerasan.....	65
4.3.1 Standar Deviasi	65
4.3.2 Hasil Uji Normalitas Data Uji Kekerasan.....	67
4.3.3 Hasil Uji Homogenitas <i>Varsians</i>	67
4.3.4 Analisis ANOVA Dua Arah.....	68
4.3.5 <i>Persentase</i> Kontribusi	69

4.4 Pembahasan	71
4.4.1 Pengaruh <i>Print Speed</i> dan <i>Layer Height</i> Pada Uji Kekerasan	71
4.4.2 Pengaruh <i>Print Speed</i> dan <i>Layer Height</i> Terhadap Densitas Nilai Kekerasan.....	74
4.4.3 Pengaruh <i>Print Speed</i> dan <i>Layer Height</i> Terhadap Kekuatan Tarik	75
4.4.4 Pengaruh <i>Print Speed</i> dan <i>Layer Height</i> Terhadap Keuletan (<i>Ductility</i>)	76
BAB V PENUTUP	78
5.1 Kesimpulan	78
5.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	80



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir.....	29
Gambar 3. 2. <i>Filament</i> TPU 95A	31
Gambar 3. 3 Metanol.....	32
Gambar 3. 4 Penelitian Menggungakan Laptop Asus	33
Gambar 3. 5 Software Autodesk inventor 2023 & <i>Software Ultimaker Cura</i>	33
Gambar 3. 6 <i>Software OriginPro</i>	34
Gambar 3. 7 <i>Software IBM SPSS Versi 25</i>	34
Gambar 3. 8 Mesin 3D Printer <i>Ender-3 Pro</i>	35
Gambar 3. 9 <i>Scraper</i>	36
Gambar 3. 10 <i>Durometer Hardnees Tester</i>	36
Gambar 3. 11 Alat Uji Tarik.....	37
Gambar 3. 12 Gelas Ukuran 250 ml.....	38
Gambar 3. 13 Timbangan Digital.....	38
Gambar 3. 14 Jangka Sorong Digital	39
Gambar 3. 15 Dimensi Spesimen Uji Kekerasan ASTM D2240 [41].....	39
Gambar 3. 16 Dimensi Spesimen Uji Kekuatan Tarik JIS K6251:2017[42].....	40
Gambar 3. 17 Desain Uji Densitas	40
Gambar 3. 18 Setting Parameter di Software Ultimaker Cura	41
Gambar 3. 19 Proses Pengaturan Parameter Pada Software Ultimaker Cura : (a) Spesimen Uji Kekerasan, (b) Spesimen Uji Tarik.....	41
Gambar 3. 20 Layar monitor pengaturan mesin 3P <i>printing</i>	42
Gambar 3. 21 Tempat memasukan <i>filament</i>	42
Gambar 3. 22 Proses Pencetakan Spesimen	43
Gambar 3. 23 Hasil 3D <i>Printing</i> : (a) spesimen uji kekerasan, (b) spesimen uji tarik, (c) spesimen uji densitas	43
Gambar 3. 24 Spesimen Uji Kekerasan.....	44
Gambar 3. 25 (a). <i>Durometer shore A</i> , (b). Proses pengujian.....	45
Gambar 3. 26 Ilustrasi jarak titik dimensi pengujian kekerasan.....	45
Gambar 3. 27 Uji Densitas: (a) Penimbangan Berat di udara, (b) Penimbangan Berat di air.....	47
Gambar 3. 28 Pengukuran Suhu Cairan Metanol.....	47
Gambar 3. 29 Spesimen uji tarik	49
Gambar 3. 30 Mesin uji tarik.....	49
Gambar 3. 31 Ilustrasi Pemasangan spesimen uji tarik[23]	50
Gambar 3. 32 Spesimen setelah dilakukan uji tarik	50
Gambar 4. 1 Grafik Hubungan <i>Print Speed</i> dan Variasi <i>Layer Height</i>	55
Gambar 4. 2 Grafik Rata-rata Hasil Uji Densitas.....	58
Gambar 4. 3 Grafik Pengaruh <i>Print Speed</i> dan <i>Layer Height</i> Terhadap <i>Tensile Break</i>	61
Gambar 4. 4 Grafik Nilai Hasil Tingkat Keuletan	64

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Parameter Proses Cetak	30
Tabel 3. 2 Spesifikasi Mesin 3D Printer ENDER -3PRO[23].....	35
Tabel 3. 3 Spesifikasi Mesin Uji Tarik.....	37
Tabel 4. 1 Hasil Uji Kekerasan;	54
Tabel 4. 2 Hasil Penimbangan Spesimen uji Densitas	56
Tabel 4. 3 Hasil Uji Densitas.....	58
Tabel 4. 4 Hasil Uji Tarik <i>Tensile Break</i>	60
Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran Perpanjangan Spesimen Uji Tarik	62
Tabel 4. 6 Hasil Nilai Keuletan	63
Tabel 4. 7 Deskriptif Statistik deviasi	66
Tabel 4. 8 Hasil <i>Output</i> uji Normalitas	67
Tabel 4. 9 Hasil <i>Output</i> uji Homogenitas	68
Tabel 4. 10 Hasil <i>Two-way</i> ANOVA <i>Software</i> SPSS	68
Tabel 4. 11 Kontribusi Faktor	70



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era industri 4.0 perkembangan industri mengakibatkan persaingan antar industri menjadi sangat ketat, persaingan memaksa setiap industri manufaktur untuk menciptakan produk dengan kualitas terbaik dan akurat sehingga berujung peningkatan kualitas produk yang dihasilkan untuk produk teknologi *3D printing* [1]. *3D Printing* adalah salah satu mesin paling efisien dan inovatif dengan teknologi *Additive Manufacturing* (AM) yang mampu menciptakan sebuah objek 3D dengan struktur unik dan beragam bentuk. Teknik yang sering digunakan dalam teknologi *3D Printing* adalah *Fused Deposition Modeling* (FDM) [2][3].

Fused Deposition Modeling (FDM) adalah teknik yang paling umum digunakan dalam pemodelan AM [4]. Prinsip kerja dari *3D Printing* menggunakan metode *layer by layer* yaitu dengan cara memanaskan *filament* yang di cetak secara berlapis-lapis hingga terbentuk suatu objek yang utuh [5]. Salah satu material utama *3D printing* adalah *filament* yang berfungsi sebagai pengisi cetakan, beberapa jenis *filament* yang umum digunakan pada *3D printing* seperti material *polylactic acid* (PLA), *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), *polyethylene terephthalate glycol* (PETG), dan *polycarbonate* (PC) [6].

Teknologi FDM saat ini semakin terus berkembang, terutama di bagian penggunaan sebagai bahan pembentuk utama untuk material yang fleksibel, salah satu material yang memiliki sifat fleksibel adalah TPU 95A (*Thermoplastic Polyurethane*). Material TPU 95A memiliki karakteristik elastisitas yang tinggi, daya tarik yang optimal, dan kekerasan yang baik [7]. Namun, untuk mencapai sifat mekanik yang baik dari segi kekerasan dan kekuatan tarik optimal spesimen yang dicetak dengan *filament* TPU-95A diperlukan proses pengaturan parameter *3D printing* yang tepat dan parameter peran krusial untuk menghasilkan spesimen berkualitas, maka diperlukan beberapa pengaturan parameter proses *3D printing* yang tepat, seperti *print speed*, *layer height*, *infill density*, dan *printing temperature* [8].

Salah satu permasalahan mesin 3D *printing* dengan menggunakan *filament* dapat disesuaikan dalam hal akurasi dimensi masih memiliki ruang untuk penyelidikan lebih lanjut. Penelitian ini berfokus pada dua parameter utama seperti *print speed* (kecepatan cetak) dan *layer height* (ketebalan lapisan). Penyesuaian parameter proses 3D *printing* perlu dilakukan dengan perencanaan yang matang. Oleh karena itu, Belum ada penelitian yang secara spesifik mempertimbangkan penggunaan *filament* TPU 95A untuk pembuatan. Berdasarkan latar belakang dan tinjauan yang telah dilakukan sebelumnya, penelitian oleh Hasdiansah et al. (2018) meneliti pengaruh parameter proses 3D *printing* terhadap elastisitas produk TPU (*Thermoplastic Polyurethane*) [9].

Penelitian ini memiliki nilai penting karena dapat memahami dan mengoptimalkan proses 3D *printing* menggunakan *filament* TPU 95A. Penelitian Agris Setiawan telah melakukan eksperimen terhadap material PLA dengan variasi *print speed* pada 50, 80, dan 110 mm/s, menggunakan *layer height* sebesar 0,15 mm dan suhu ekstruder 220°C. Berdasarkan hasil uji tarik, *print speed* 80 mm/s memberikan hasil paling optimal dengan kekuatan tarik tertinggi sebesar 27,96 MPa [10].

Berdasarkan kebutuhan produk yang mengharapkan sifat mekanik yang optimal dalam hal kekerasan dan kekuatan tarik serta kurangnya penelitian berfokus pada penggunaan *filament* TPU 95A, maka dilakukanlah sebuah penelitian tentang "Pengaruh *print speed* dan *layer height* terhadap sifat mekanik pada spesimen 3D *Printing filament* TPU-95A". Penelitian ini bertujuan untuk menemukan parameter optimal yang dapat meningkatkan kualitas dan efisiensi pencetakan 3D *printing* menggunakan *filament* TPU 95A.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang ditemukan beberapa permasalahan yang muncul dalam penelitian ini. Maka rumusan masalah yang diambil adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *print speed* dan *layer height* terhadap nilai kekerasan pada spesimen 3D *printing filament* TPU-95A?

2. Bagaimana pengaruh *print speed* dan *layer height* terhadap kekuatan tarik pada spesimen 3D *printing filament* TPU-95A?
3. Bagaimana pengaruh *print speed* dan *layer hight* terhadap keuletan spesimen produk 3D *printing filament* TPU-95A?
4. Apakah terdapat pengaruh yang signifikan dari *print speed* dan *layer height* terhadap nilai kekerasan berdasarkan uji ANOVA?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan ini berjalan sebagaimana yang di harapkan dan tidak meluas, maka batasan masalah pada penelitian ini meliputi:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada pengaruh *print speed* dan *layer height* terhadap sifat mekanik spesimen TPU-95A dengan meliputi nilai kekerasan, kekuatan tarik, dan keuletan.
2. Uji densitas dilakukan sebagai data pendukung untuk memperkuat interpretasi terhadap hasil uji kekerasan, namun tidak menjadi fokus utama dalam analisis.
3. Analisis statistik berupa ANOVA dua arah dan hanya diterapkan pada data hasil nilai uji kekerasan. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan jumlah spesimen pada uji kekuatan tarik dan keuletan, sehingga tidak memungkinkan dilakukan analisis statistik yang valid untuk kedua sifat tersebut.
4. Penelitian ini tidak mempertimbangkan pengaruh suhu ruangan, desain atau geometri terhadap sifat mekanik akhir hasil pencetakan.
5. Penelitian ini tidak membahas pengaruh parameter pencetakan lain seperti *nozzle temperature*, *infill density*, dan *infill pattern*. Fokus penelitian terbatas pada dua variabel utama, yaitu *print speed* dan *layer height* terhadap perubahan sifat mekanik TPU-95A.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh *print speed* dan *layer height* terhadap nilai kekerasan pada spesimen 3D *printing filament* TPU-95A.

2. Untuk mengetahui pengaruh *print speed* dan *layer height* terhadap kekuatan tarik pada spesimen 3D *printing filament* TPU-95A.
3. Untuk mengetahui pengaruh *print speed* dan *layer height* terhadap keuletan spesimen 3D *printing filament* TPU-95A.
4. Untuk mengetahui pengaruh yang signifikan dari *print speed* dan *layer height* terhadap nilai kekerasan berdasarkan uji ANOVA.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini diantaranya:

1. Dapat memberikan pemahaman mengenai pengaruh parameter *print speed* dan *layer height* terhadap uji kekerasan dan uji tarik pada spesimen 3D *printing filament* TPU-95A.
2. Memberikan panduan praktis bagi pengguna 3D *printing* yang memanfaatkan *filament* TPU-95A, dalam menentukan parameter pencetakan yang optimal untuk mencapai hasil yang diinginkan.
3. Dapat berpotensi untuk meningkatkan kualitas produk 3D *printing filament* TPU-95A dengan mengoptimalkan parameter pencetakan, sehingga dapat digunakan berbagai aplikasi yang memerlukan ketahanan dan kekuatan mekanis yang tinggi.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada penelitian ini terdapat sistematika dalam penulisan pada skripsi yang terdiri dari 5 BAB yaitu sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan ini berisikan seperti latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan tinjauan pustaka mengenai dasar teori yang mendasari penelitian pengaruh *print speed* dan *layer height* terhadap kekerasan dan kekuatan tarik pada spesimen *filament* TPU-95A.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini memaparkan metode penelitian seperti diagram alir penelitian, peralatan dan bahan yang digunakan, proses pembuatan spesimen uji, prosedur uji ASTM D2240, ASTM D792 dan prosedur uji JIS K6251:2017.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini memaparkan penjelasan mengenai analisa pengaruh *print speed* dan *layer height* terhadap uji kekerasan dan uji tarik dari hasil cetak mesin 3D *printing* berfilamen TPU 95A.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya terkait dengan proses 3D *printing* dengan *filament* TPU-95A.



BAB V

PENUTUP

2.1 Mesin 3D Printing

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan uraian diantaranya sebagai berikut:

1. Penelitian ini menunjukkan kombinasi parameter *print speed* dan *layer height* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan produk hasil cetakan. Kombinasi parameter diperoleh pada *print speed* 70 mm/s dan *layer height* 0,15 mm menghasilkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 78,4 Shore A.
2. Pada pengujian kekuatan tarik nilai tertinggi sebesar 27,003 MPa diperoleh dengan parameter *print speed* 90 mm/s dan *layer height* 0,15 mm menunjukkan bahwa parameter tersebut optimal dalam meningkatkan daya tahan produk hasil terhadap beban tarik.
3. Nilai keuletan (*ductility*) tertinggi sebesar 145,5% tercapai pada kombinasi *print speed* 90 mm/s dan *layer height* 0,2 mm, menunjukkan bahwa kombinasi ini memberikan fleksibilitas deformasi yang tinggi sebelum mengalami kegagalan.
4. Berdasarkan hasil analisis statistik menggunakan *Two-Way* ANOVA, diketahui bahwa parameter *print speed* dan *layer height* berpengaruh signifikan terhadap kekerasan material dengan nilai signifikansi $p < 0,05$. Parameter *print speed* tinggi dan *layer height* rendah menghasilkan kualitas mekanik terbaik, baik dari segi kekerasan maupun kekuatan tarik, sehingga dapat dijadikan acuan dalam pengaturan parameter untuk material fleksibel seperti TPU-95A.

5.2 Saran

Adapun penelitian ini terdapat saran yaitu sebagai berikut:

1. Disarankan untuk melakukan pengulangan eksperimen dengan jumlah spesimen yang lebih banyak, terutama pada pengujian tarik dan keuletan,

agar memungkinkan dilakukan analisis statistik yang valid terhadap seluruh data sifat mekanik.

2. Penelitian ini hanya mengkaji dua parameter utama, yaitu *print speed* dan *layer height*. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar menambahkan parameter lain seperti *nozzle temperature*, *infill density*, atau *infill pattern* untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif terhadap sifat mekanik material TPU-95A.
3. Perlu dilakukan pengujian sifat mekanik lainnya seperti impak, ketahanan aus, atau *fatigue*, guna memperkaya informasi karakteristik material TPU-95A untuk penggunaan dalam aplikasi teknik dan industri.
4. Penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pengembangan parameter cetak standar pada penggunaan material elastomer seperti TPU-95A dalam berbagai aplikasi teknis yang memerlukan fleksibilitas dan kekuatan tarik yang baik.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Avriansah, Erwanto, and Pristiansyah, "Optimasi Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kekuatan Tarik Filament Polyethylene Terephthalet Glycol," *Pros. Semin. Nas. Inov. Teknol. Terap.*, vol. 2, no. 1, pp. 394–400, 2022.
- [2] Z. S. Suzen, Hasdiansah, and Yuliyanto, "Pengaruh Tipe Infill Dan Temperatur Nozzle Terhadap Kekuatan Tarik Produk 3D Printing Filamen Pla+ Esun," *J. Teknol. Manufaktur*, vol. 12, no. 02, 2020.
- [3] Pristiansyah; Hardiansyah; Sugiyarto, "Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex," *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 11, no. 01, pp. 0–7, 2019, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/289929-optimasi-parameter-proses-3d-printing-fd-bc4a4103.pdf>
- [4] P. Pristiansyah, H. Hasdiansah, and A. Ferdiansyah, "Pengaruh Parameter Proses Pada 3D Printing FDM Terhadap Kekuatan Tarik Filament ABS CCTREE," *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 14, no. 01, pp. 15–22, 2022, doi: 10.33504/manutech.v14i01.210.
- [5] R. Redy, H. Hasdiansah, and Z. Sirwansyah Suzen, "Optimasi Parameter Produk 3D Printing Terhadap Kuat Tarik Menggunakan Filamen TPU (Thermoplastic Polyurethane)," *J. Inov. Teknol. Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 312–317, 2023, doi: 10.33504/jitt.v1i2.19.
- [6] H. Hasdiansah and Z. S. Suzen, "Pengaruh Geometri Infill terhadap Kekuatan Tarik Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Type IV Menggunakan Filamen PLA+ Sugoi," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 2, p. 140, 2021, doi: 10.32497/jrm.v16i2.2343.
- [7] C. Subjects, "CVE 508 Design of Column Base Plate," vol. 1, no. 1, pp. 1–16, 2012.
- [8] M. Rivaldi, M. Yunus, and P. Pristiansyah, "Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Kuat Bentur Menggunakan Fiamen Polycarbonate," *J. Inov. Teknol. Terap.*, vol. 1, no. 1, pp. 223–230, 2023, doi: 10.33504/jitt.v1i1.93.
- [9] Hasdiansah and Herianto, "Pengaruh Parameter Proses 3D Printing," pp. 187–192, 2018.
- [10] A. Setiawan, P. Studi DIII Aeronautika, and S. Yogyakarta, "PENGARUH PARAMETER PROSES EKTRUSI 3D PRINTER TERHADAP SIFAT MEKANIS CETAK KOMPONEN BERBAHAN FILAMENT PLA (Poly Lactide Acid)," *J. Tek. STTKD*, vol. 4, no. 2, pp. 2460–1608, 2017.
- [11] K. S. Putra, S. Ds, U. R. Sari, and S. Ds, "Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup," pp. 1–6, 2018.

- [12] C. Mawardi, "Pengantar 3D Printing," 2020.
- [13] B. Akhoundi and A. H. Behraves, "Effect of Filling Pattern on the Tensile and Flexural Mechanical Properties of FDM 3D Printed Products," *Exp. Mech.*, vol. 59, no. 6, pp. 883–897, 2019, doi: 10.1007/s11340-018-00467-y.
- [14] W. Wu, P. Geng, G. Li, D. Zhao, H. Zhang, and J. Zhao, "Influence of layer thickness and raster angle on the mechanical properties of 3D-printed PEEK and a comparative mechanical study between PEEK and ABS," *Materials (Basel)*, vol. 8, no. 9, pp. 5834–5846, 2015, doi: 10.3390/ma8095271.
- [15] M. F. A. R. Ghifari, S. Aisyah, and H. Toar, "Desain Mesin Filament Extruder," *J. Integr.*, vol. 14, no. 2, pp. 145–152, 2022, doi: 10.30871/ji.v14i2.4673.
- [16] W. Hidayat, "Klasifikasi Dan Sifat Material Teknik Serta Pengujian Material," *J. Mater. Tek.*, vol. 4, pp. 1–19, 2019.
- [17] T. Dan and S. Mikro, "ANALISIS PENGARUH WAKTU PERENDAMAN PROSES DEEP CRYOGENIC TREATMENT PADA BESI COR KELABU FC25 TERHADAP UJI KEKERASAN , UJI," no. 1983.
- [18] H. Wibowo, A. Wibowo, A. Farid, and A. Shidiq, "Karakteristik Pelapisan Pada Produk Printer Tiga Dimensi (3d) Menggunakan Material Filament ABS, PLA Dan HIPS," *Engineering*, vol. 13, no. 1, pp. 9–18, 2022.
- [19] American Society for Testing and Materials, "ASTM D2240-15 Standard Test Methods for Rubber Property-Durometer Hardness," *Annu. B. ASTM Stand.*, pp. 1–13, 2015, doi: 10.1520/D2240-15.2.
- [20] G. Gomez-gras, R. Jerez-mesa, and J. A. Travieso-, "PT SC," *Mater. Des.*, 2017, doi: 10.1016/j.matdes.2017.11.072.
- [21] G. Gomez-Gras, R. Jerez-Mesa, J. A. Travieso-Rodriguez, and J. Lluma-Fuentes, "Fatigue performance of fused filament fabrication PLA specimens," *Mater. Des.*, vol. 140, pp. 278–285, 2018, doi: 10.1016/j.matdes.2017.11.072.
- [22] X. Wang, L. Zhao, J. Ying, and H. Fuh, "polymers E ff ect of Porosity on Mechanical Properties of 3D Printed Polymers : Experiments and Micromechanical Modeling Based on X-ray Computed Tomography Analysis," 2019.
- [23] A. H. Rahman, *Pengaruh Ketebalan Variasi Core (3D Print) Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Sandwich Menggunakan Metode Vacuum Assisted Resin Infussion (Vari.* 2022.
- [24] D. Arini, M. S. Ulum, and K. Kasman, "Pembuatan dan Pengujian Sifat Mekanik Plastik Biodegradable Berbasis Tepung Biji Durian," *Nat. Sci. J. Sci. Technol.*, vol. 6, no. 3, pp. 276–283, 2017, doi: 10.22487/25411969.2017.v6.i3.9202.
- [25] R. D. Salindeho, J. Soukota, and R. Poeng, "Pemodelan pengujian tarik

- untuk menganalisis sifat mekanik material,” *J. Online Poros Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 88–98, 2018.
- [26] W. Iswidodo, *Identifikasi Multiple Damages Struktur Kapal Berbahan Sandwich Panel Menggunakan Respon Getaran*. 2017. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/291465336.pdf>
- [27] C. Pramono and A. Pustaka, “MATERIAL”.
- [28] U. Pahlawan, T. Tambusai, T. Pitanova, and S. Alva, “Jurnal Pendidikan dan Konseling (Virgin Coconut Oil),” vol. 5, pp. 4422–4435, 2023.
- [29] D. A. Abadi, “Dr. Ali Abadi_ Chapter Four Mechanical Properties of Materials_ Materials Properties.pdf.”
- [30] R. Padmore, A. Sabourin, K. Petersen, C. Campbell, M. Chennette, and J. Shaw, “Practical application of mathematical calculations and statistical methods for the routine haematology laboratory,” vol. 44, no. March, pp. 11–20, 2022, doi: 10.1111/ijlh.13934.
- [31] R. Article, “Basic statistical tools in research and data analysis,” no. 54, pp. 662–669, 2016, doi: 10.4103/0019-5049.190623.
- [32] A. Zulkifli, J. Gusniati, M. S. Zulefni, and R. A. Afendi, “dengan Tutorial uji normalitas dan menggunakan aplikasi SPSS uji homogenitas,” vol. 1, no. 2, pp. 55–68, 2025.
- [33] M. Processing, F. Tesfom, and G. Varga, “ANOVA Analysis and L9 Taguchi Design for Examination of Flat Slide Burnishing of Unalloyed Structural Carbon Steel,” 2023.
- [34] R. Syahputra, M. Sayuti, and S. Mutia, “The Effect of Natural Fiber Percentage on the Tensile Strength of Paper Using ANOVA,” vol. 3, no. 2, pp. 72–76, 2023.
- [35] A. Naseer, Y. Zhang, and Z. Zhang, “Taguchi and ANOVA analysis for the optimization of the microencapsulation of a volatile phase change material,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 11, pp. 667–680, 2021, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.01.025.
- [36] J. Gaussian, “merupakan suatu eksperimen yang terdiri dari k buah faktor dengan dua level. Sedangkan desain eksperimen faktorial 3,” vol. 3, pp. 303–312, 2014.
- [37] H. Syahrizal and M. S. Jailani, “Jenis-Jenis Penelitian Dalam Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif,” vol. 1, pp. 13–23, 2023.
- [38] G. Gao, F. Xu, J. Xu, and Z. Liu, “Study of Material Color Influences on Mechanical Characteristics of Fused Deposition Modeling Parts,” pp. 1–15, 2022.
- [39] F. Arifin and P. N. Sriwijaya, “PENGARUH PARAMETER PADA PROSES 3D PRINTING MENGGUNAKAN FILAMENT EAL-FILL TERHADAP AKURASI DIMENSI DAN KEKERASAN Fillament Eal-Fill

- Terhadap Akurasi Dimensi Dan Kekerasan Dengan Pendekatan,” no. December, 2021.
- [40] F. Speed, “Nov.2021 Version 4.0,” no. 6, pp. 3–4, 2021.
- [41] J. Pratama and A. Z. Adib, “Pengaruh Parameter Cetak Pada Nilai Kekerasan Serta Akurasi Dimensi Material Thermoplastic Elastomer (TPE) Hasil 3D Printing,” *J. Ilm. Giga*, vol. 25, no. 1, p. 35, 2022, doi: 10.47313/jig.v25i1.1712.
- [42] D. Mardiyana, D. I. Sumarno, M. Ali, S. Yudono, and L. A. Islami, “Jurnal Rekayasa Mesin Kajian Kelayakan Sifat Mekanik Produk 3D Printing FDM Berfilamen eFlex TPU-95A untuk Aplikasi Polisi Tidur Dani Mardiyana , dkk / Jurnal Rekayasa Mesin,” vol. 19, no. 3, pp. 457–468, 2024.
- [43] K. Fiber, B. Betung, H. Lay, and Z. Sulaiman, “Pengaruh Kadar Perendaman Kalium Permanganat terhadap Kekuatan,” pp. 1–6, 2023.
- [44] S. Agung and E. Prayogi, “Penggunaan Karbon Hitam terhadap Karakteristik Karet Nitril sebagai Karet Perapat Katup Tabung LPG,” *Proceeding SENDIU*, no. April, pp. 441–446, 2020.
- [45] M. S. Ummah, “No,” *Sustain.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–14, 2019.
- [46] T. D. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K. T. Q. Nguyen, and D. Hui, “Additive manufacturing (3D printing): A review of materials , methods , applications and challenges,” *Compos. Part B*, vol. 143, no. February, pp. 172–196, 2018, doi: 10.1016/j.compositesb.2018.02.012.
- [47] S. H. Ahn, M. Montero, D. Odell, S. Roundy, and P. K. Wright, *Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS*, vol. 8, no. 4. 2002. doi: 10.1108/13552540210441166.
- [48] S. Densitas, D. Kekerasan, P. Studi, T. Mesin, U. Udayana, and K. B. Jimbaran, “Pengaruh Waktu Penahanan Dan Temperatur Sintering Komposit Al Matrik Dengan Penguat Al 2 0 3 + SiCw Terhadap,” vol. 8, no. 2, 2019.
- [49] V. M. B. A. Lion and J. H. M. Johlitz, “The influence of printing parameters on the mechanical properties of 3D printed TPU - based elastomers,” *Prog. Addit. Manuf.*, vol. 8, no. 4, pp. 693–701, 2023, doi: 10.1007/s40964-023-00418-7.
- [50] H. O. T. Ware, R. Hai, and C. Sun, *Vat Photopolymerization*, vol. Part F1592. 2023. doi: 10.1007/978-3-031-20752-5_22.
- [51] J. R. C. Dizon, A. H. Espera, Q. Chen, and R. C. Advincula, “Mechanical characterization of 3D-printed polymers,” *Addit. Manuf.*, vol. 20, pp. 44–67, 2018, doi: 10.1016/j.addma.2017.12.002.
- [52] J. M. Chacón, M. A. Caminero, E. García-Plaza, and P. J. Núñez, “Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection,” *Mater. Des.*, vol. 124, pp. 143–157, 2017, doi: 10.1016/j.matdes.2017.03.065.

- [53] X. Wang, M. Jiang, Z. Zhou, J. Gou, and D. Hui, “3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 110, pp. 442–458, 2017, doi: 10.1016/j.compositesb.2016.11.034.
- [54] B. M. Tymrak, M. Kreiger, and J. M. Pearce, “Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions,” *Mater. Des.*, vol. 58, pp. 242–246, 2014, doi: 10.1016/j.matdes.2014.02.038.
- [55] O. S. Es-Said, J. Foyos, R. Noorani, M. Mendelson, R. Marloth, and B. A. Pregger, “Effect of layer orientation on mechanical properties of rapid prototyped samples,” *Mater. Manuf. Process.*, vol. 15, no. 1, pp. 107–122, 2000, doi: 10.1080/104269100008912976.
- [56] B. N. Turner, R. Strong, and S. A. Gold, “A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling,” *Rapid Prototyp. J.*, vol. 20, no. 3, pp. 192–204, 2014, doi: 10.1108/RPJ-01-2013-0012.

