

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

SKRIPSI

RAMDAN RIZKI MUNGgaran

20210110077



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

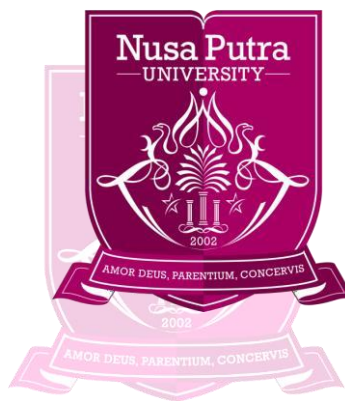
**PENGARUH *LAYER HEIGHT* DAN *PRINT SPEED* TERHADAP
SIFAT MEKANIK PADA SPESIMEN CETAK *3D PRINTING*
BERFILAMEN TPU 95A**

SKRIPSI

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

RAMDAN RIZKI MUNGgaran

20210110077



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

PERNYATAAN PENULIS

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

NAMA : RAMDAN RIZKI MUNGgaran

NIM : 20210110077

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, 28 Juli 2025



Materai

RAMDAN RIZKI MUNGgaran

PERSETUJUAN SKRIPSI

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

NAMA : RAMDAN RIZKI MUNGgaran

NIM 20210110077

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui

Sukabumi, 28 Juli 2025

Ketua Program Studi
Teknik Mesin

Pembimbing

(Lazuardi Akmal Islami, M.Si.)

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

NIDN: 0415039402

NIDN. 0429038703



PENGESAHAN SKRIPSI

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

NAMA : RAMDAN RIZKI MUNGgaran

NIM : 20210110077

Skripsi ini telah diujikan dan dipertahankan didepan Dewan Penguji pada sidang skripsi tanggal 15 Juli 2025. Menurut pandangan kami, Skripsi ini memadai dari segi kualitas untuk tujuan penganugerahan gelar Sarjana Teknik (S.T).

Sukabumi, 28 Juli 2025

Dosen Pembimbing

Penguji I

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

NIDN. 0429038703

Penguji II

(Zaid Sulaiman, M.T.)

NIDN:0410109701

Ketua Program Studi Teknik Mesin

(Lazuardi Akmal Islami, M.Si.)

NIDN: 0415039402

(Lazuardi Akmal Islami, M.Si.)

NIDN: 0415039402

Plh. Dekan Fakultas Teknik Komputer Dan Desain

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

NIDN: 0402037401

MOTTO

"Kemajuan sejati bukan sekadar penguasaan atas teknologi, melainkan kesadaran untuk menggunakannya secara bertanggung jawab dan bertakwa"

-Ramdan Rizki M-

"Jangan takut gagal, karena yang tidak pernah melangkah tak akan pernah maju"

-Buya Hamka-



PERSEMBAHAN

*Skripsi ini dengan segala kerendahan hati dipersembahkan kepada:
“Keluarga tercinta, atas cinta, dukungan, dan doa yang tak pernah berhenti
mengiringi langkah ini”*



ABSTRAK

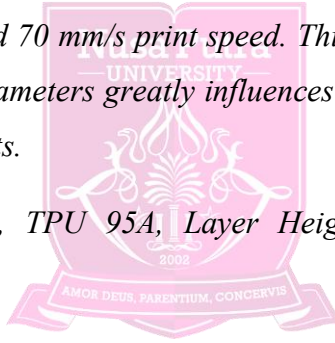
Teknologi pencetakan 3D semakin berkembang dalam industri manufaktur, terutama dengan penggunaan filamen fleksibel seperti TPU 95A. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi *layer height* dan *print speed* terhadap sifat mekanik spesimen TPU 95A hasil cetak 3D. Parameter yang diuji meliputi dua variasi *layer height* (0,2 mm dan 0,25 mm) serta tiga variasi *print speed* (70 mm/s, 80 mm/s, dan 90 mm/s). Pengujian dilakukan terhadap sifat mekanik berupa kekerasan, kekuatan tarik, dan keuletan. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi *layer height* 0,2 mm dan *print speed* 70 mm/s menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar 77 Shore A. Uji ANOVA dua arah menunjukkan bahwa *layer height*, *print speed*, dan interaksinya berpengaruh signifikan terhadap kekerasan, dengan kontribusi terbesar berasal dari *print speed* sebesar 89,06%. Nilai kekuatan tarik tertinggi tercatat pada kombinasi 0,2 mm dan 70 mm/s sebesar 26,099 MPa, sedangkan keuletan tertinggi sebesar 151,12% diperoleh pada kombinasi 0,25 mm dan 70 mm/s. Penelitian ini membuktikan bahwa pemilihan parameter pencetakan yang tepat sangat berpengaruh terhadap kualitas mekanik hasil cetak 3D berbahan TPU 95A.

Keyword : *3D Printing*, Filament TPU 95A, *Layer Height*, *Print speed*, Sifat Mekanik

ABSTRACT

3D printing technology continues to advance in the manufacturing industry, especially with the use of flexible filaments such as TPU 95A. This study aims to investigate the effects of layer height and print speed variations on the mechanical properties of 3D-printed TPU 95A specimens. The tested parameters include two layer heights (0.2 mm and 0.25 mm) and three print speeds (70 mm/s, 80 mm/s, and 90 mm/s). Mechanical testing was conducted to evaluate hardness, tensile strength, and elongation. The results show that the combination of 0.2 mm layer height and 70 mm/s print speed produced the highest hardness value of 77 Shore A. Two-way ANOVA analysis revealed that layer height, print speed, and their interaction significantly affect hardness, with print speed contributing the most at 89.06%. The highest tensile strength was recorded at 26.099 MPa with the same parameter combination, while the highest elongation value of 151.12% was achieved using a 0.25 mm layer height and 70 mm/s print speed. This study confirms that selecting appropriate printing parameters greatly influences the mechanical quality of 3D-printed TPU 95A products.

Keywords: *3D Printing, TPU 95A, Layer Height, Print Speed, Mechanical Properties.*



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 skripsi ini adalah salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Pendidikan Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Mesin di UNIVERSITAS NUSA PUTRA.

Sehubungan dengan itu penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Kurniawan ST., M.Si., M.M. selaku Rektor Universitas Nusa Putra.
2. Bapak Lazuardi Akmal Islami, M.Si. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin.
3. Bapak Ir. Dani Mardiyana S.Pd., M.T. selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing saya dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Zaid Sulaiman, M.T. dan Bapak Lazuardi Akmal Islami, M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan pembelajaran terbaik pada saya.
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. Seluruh rekan-rekan perjuangan 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 laporan ini dimasa yang akan datang.

Sukabumi, 28 Juli 2025

Penulis

Ramdan Rizki Munggaran

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

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

Nama : Ramdan Rizki Munggaran

NIM 20210110077

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 *LAYER HEIGHT* DAN *PRINT SPEED* TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA SPESIMEN CETAK *3D PRINTING* BERFILAMEN TPU 95 A, 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 : 28 juli 2025

Yang menyatakan

(Ramdan Rizki Munggaran)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENULIS	ii
PERSETUJUAN SKRIPSI	iii
PENGESAHAN SKRIPSI	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
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.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 <i>3D Printing</i>	6
2.2 Parameter Proses Pencetakan.....	7
2.3 Filamen.....	10
2.4 Uji Kekerasan.....	11
2.4.1 Uji densitas.....	13
2.5 Uji Tarik.....	14
2.5.1 Keuletan.....	16
2.6 Statistik Deskriptif.....	17
2.6.1 Rata-rata (Mean).....	18
2.6.2 Simpangan Baku (Standar Deviasi).....	18

2.6.3	Koefisien Variasi (<i>Coefficient of Variation</i>).....	19
2.7	Statistik Inferensial.....	19
2.7.1	Pengertian Uji ANOVA.....	19
2.7.2	ANOVA Dua Arah.....	20
2.7.3	Asumsi Dalam Uji ANOVA.....	22
2.7.4	Interpretasi Hasil Anova.....	24
2.8	Persentase Kontribusi.....	24
2.9	Metode Eksperimen.....	25
2.10	Penelitian sebelumnya.....	25
BAB III	METODE PENELITIAN.....	28
3.1	Diagram Alir.....	29
3.2	Studi Literatur.....	30
3.3	Persiapan Bahan dan Peralatan.....	30
3.3.1	Bahan.....	30
3.3.2	Peralatan.....	32
3.4	Desain spesimen uji ASTM D2240-15, JIS K6251-2017 dan ASTM D792-15.....	37
3.5	Proses Pembuatan Spesimen.....	38
3.6	Pengujian Spesimen.....	41
3.6.1	Pengujian kekerasan ASTM D2240-15.....	41
3.6.2	Pengujian densitas ASTM D792-20.....	42
3.6.3	Pengujian tarik JIS K6251-2017.....	44
3.7	Metode Analisis Data.....	44
3.7.1	Analisis Data Uji Kekerasan.....	45
3.7.2	Analisis Data Uji Densitas.....	47
3.7.3	Analisis Data Uji Tarik dan Keuletan.....	47
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
4.1	Hasil Uji Kekerasan.....	48
4.1.1	Hasil Uji Densitas.....	51
4.2	Data Hasil Uji Kekuatan Tarik.....	53
4.2.1	Hasil Perhitungan Keuletan.....	55
4.3	Uji Statistik Data Kekerasan.....	57
4.3.1	Hasil Uji Normalitas Data Kekerasan.....	57
4.3.2	Hasil Uji Homogenitas Varians.....	58

4.3.3	Hasil Uji ANOVA Dua Arah.....	58
4.3.4	Persentase Kontribusi	59
4.4	Pembahasan	60
4.4.1	Pembahasan Hasil Uji Kekerasan.....	60
4.4.2	Pengaruh Densitas terhadap Nilai Kekerasan.....	65
4.4.3	Pembahasan Hasil Uji Kekuatan Tarik.....	67
4.4.4	Pembahasan Hasil Keuletan	70
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran.....	74
	DAFTAR PUSTAKA.....	75
	LAMPIRAN	80



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter Variasi.....	28
Tabel 3.2 Spesifikasi <i>3D Printer</i>	34
Tabel 3.3 Spesifikasi Mesin Uji Tarik	37
Tabel 4 1. Hasil Pengujian Kekerasan	48
Tabel 4 2. Statistik Deskriptif Kekerasan	50
Tabel 4 3. Hasil pengujian densitas	51
Tabel 4 4. Hasil Pengujian Tarik <i>tensile break</i>	54
Tabel 4 5. Hasil pengukuran panjang akhir Uji Tarik.....	55
Tabel 4 6. Hasil perhitungan keuletan	56
Tabel 4 7. Hasil Output Uji Normalitas	57
Tabel 4 8. Hasil Output Uji Homogenitas	58
Tabel 4 9. Hasil Analisis ANOVA Dua Arah untuk kekerasan spesimen uji	58
Tabel 4.10 Tabel kontribusi	59



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mesin <i>3D Printer</i> [17].	6
Gambar 2. 2 <i>Layer Height</i> [18].	8
Gambar 2. 3 Variasi <i>Infill Density</i> [18].	8
Gambar 2. 4 <i>Raster Angle</i> [19].	9
Gambar 2. 5 Jenis-jenis <i>Infill Pattern</i> [18].	9
Gambar 2. 6 Skala Kekerasan Shore [23]	12
Gambar 2. 7 Proses Pengujian Tarik [30]	15
Gambar 2. 8 Grafik tegangan regangan saat uji tarik [29]	16
Gambar 2. 9 Ilustrasi perilaku tegangan-regangan Material ulet dan getas [33].	16
Gambar 2. 10 Ilustrasi bentuk patahan hasil uji tarik [22]	17
Gambar 3. 1 Diagram alir	29
Gambar 3. 2 Filamen TPU 95A	31
Gambar 3. 3 Metanol	32
Gambar 3. 4 Laptop Acer Aspire 3	32
Gambar 3. 5 Software Autodesk Inventor 2015	33
Gambar 3. 6 Software Ultimaker Cura	33
Gambar 3. 7 Software OriginPro	33
Gambar 3. 8 Software IBM SPSS Versi 25	34
Gambar 3. 9 Mesin <i>3D Printer Ender-3 pro</i>	34
Gambar 3. 10 <i>Scrap</i>	35
Gambar 3. 11 <i>Vernier caliper</i>	35
Gambar 3. 12 Timbangan Analitik	35
Gambar 3. 13 Gelas ukur 250 ml	36
Gambar 3. 14 Durometer Hardness Test	36
Gambar 3. 15 Mesin Uji Tarik	37
Gambar 3. 16 Dimensi Spesimen Uji Kekerasan	37
Gambar 3. 17 Dimensi spesimen uji densitas	38
Gambar 3. 18 Dimensi Spesimen Uji Tarik	38
Gambar 3. 19 Mengekspor file kedalam format stl	39
Gambar 3. 20 Pengaturan Parameter	39
Gambar 3. 21 Pemindahan File	39

Gambar 3. 22 <i>Preheat</i>	40
Gambar 3. 23 Pemasangan Filamen	40
Gambar 3. 24 Pemilihan File.....	40
Gambar 3. 25 Pencetakan Spesimen	41
Gambar 3. 26 Hasil Pencetakan <i>3D printing</i> Spesimen	41
Gambar 3. 27 Hasil Pencetakan <i>3D printing</i> Spesimen uji tarik.....	41
Gambar 3. 28 Pengujian Kekerasan: (kiri) Pengujian menggunakan Durometer Digital Shore A, (kanan) Ilustrasi titik pengujian	42
Gambar 3. 29 Pengujian Densitas : (kiri) Penimbangan Berat di udara, (kanan) Penimbangan Berat di air	43
Gambar 3. 30 Suhu metanol saat pengujian	43
Gambar 3. 31 Spesimen setelah dilakukan uji tarik	44
Gambar 4. 1 Grafik hubungan print speed terhadap nilai kekerasan pada dua variasi <i>layer height</i>	49
Gambar 4. 2 Grafik hubungan nilai densitas terhadap nilai kekerasan berdasarkan <i>print speed</i>	52
Gambar 4. 3 Grafik hubungan nilai densitas terhadap nilai kekerasan berdasarkan variasi <i>layer height</i>	52
Gambar 4. 4 Grafik hubungan print speed terhadap nilai kekuatan tarik pada dua variasi <i>layer height</i>	54
Gambar 4. 5 Grafik hubungan antara print speed terhadap nilai keuletan pada dua variasi <i>layer height</i>	56
Gambar 4. 6 Ilustrasi Penggunaan <i>Print Speed</i> , (kiri) rendah, (kanan) tinggi.	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, teknologi telah memasuki era Revolusi Industri 4.0. Salah satu teknologi yang berkembang dan banyak digunakan dalam industri manufaktur adalah pencetakan 3D. Teknologi ini mulai dimanfaatkan sebagai alat produksi karena dapat menghasilkan produk dengan waktu produksi singkat dan biaya rendah [1][2]. Pencetakan 3D merupakan salah satu bagian dari teknologi *additive manufacturing* (AM) yang dapat membuat objek 3D dengan berbagai bentuk dan dimensi ukuran [3]. Teknik yang umum digunakan dalam *3D printing* ini adalah *Fused Deposition Modeling* (FDM) [4]. Prinsip kerja pencetakan 3D adalah dengan cara mencetak dan memanaskan filamen secara berlapis hingga membentuk objek utuh [5].

Berbagai jenis material telah digunakan dalam proses FDM, seperti *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), *Polylactic Acid* (PLA), nylon, PETG, dan *polycarbonate* (PC) [6]. Seiring perkembangan teknologi *3D printing*, material dengan sifat fleksibel mulai banyak digunakan sebagai bahan cetak utama [7]. Salah satu material yang banyak digunakan saat ini dan memiliki sifat fleksibel adalah TPU 95A (*Thermoplastic Polyurethane*), yang memiliki karakteristik elastisitas yang tinggi, keuletan yang baik, dan kekerasan permukaan (*Shore A 95*) [8][9]. Namun, karena sifatnya yang fleksibel, pencetakan TPU sering kali menghasilkan ketidakstabilan dimensi dan ketidakkonsistenan sifat mekanik pada hasil cetakan [10].

Kualitas hasil cetakan FDM sangat dipengaruhi oleh pengaturan parameter proses pencetakan. Beberapa parameter penting dalam proses pencetakan FDM antara lain yaitu *print speed*, *layer height*, *infill density*, dan *printing temperature*. Setiap parameter tersebut dapat memengaruhi kerapatan antar-lapisan, kekuatan struktur cetakan, serta sifat mekanik produk yang dihasilkan [11]. Dalam penelitian ini digunakan dua parameter utama, yaitu *layer height* dan *print speed*, karena keduanya memiliki pengaruh langsung terhadap kekuatan antar-lapisan dan hasil

akhir cetakan, terutama pada sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan tarik, dan keuletan. Ketiga sifat mekanik tersebut merupakan indikator penting dalam menilai performa hasil cetak [12].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji pengaruh parameter proses terhadap sifat mekanik material elastomer berbasis FDM. Misalnya, Jovanić et al. [13] meneliti pengaruh *layer height* terhadap kekerasan TPU 95A dan menemukan bahwa peningkatan *layer height* menyebabkan penurunan nilai kekerasan akibat lemahnya ikatan antar-lapisan. Sementara itu, Hamidi et al. [14] membahas pengaruh *print speed* terhadap keuletan pada campuran PLA/TPU, dan menunjukkan bahwa kecepatan cetak serta ketebalan lapisan sangat berpengaruh terhadap elongasi dan fleksibilitas material elastomer. Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut hanya mengkaji satu parameter secara terpisah, atau menggunakan material selain TPU 95A, sehingga belum banyak studi yang secara langsung mengamati interaksi antara *layer height* dan *print speed* terhadap sifat mekanik TPU 95A.

Penelitian mengenai pengaruh *layer height* dan *print speed* terhadap material fleksibel seperti TPU 95A masih sangat terbatas. Di sisi lain, penggunaan material mulai banyak digunakan dalam industri maupun penelitian, Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami sejauh mana pengaruh variasi *layer height* dan *print speed* terhadap sifat mekanik material TPU 95A.

Berdasarkan latar belakang serta tinjauan tersebut, Penelitian ini di fokuskan pada dua parameter cetak yaitu *layer height* dan *print speed* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai kekerasan, kekuatan tarik serta keuletan material TPU 95A. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan dan optimalisasi proses pencetakan 3D berbasis FDM, khususnya dalam penggunaan material TPU 95A, serta menjadi referensi bagi penelitian lanjutan di bidang material fleksibel berbasis FDM.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh *layer height* dan *print speed* terhadap nilai kekerasan spesimen hasil *3D printing* berfilamen TPU 95A ?
2. Bagaimana pengaruh *layer height* dan *Print Speed* terhadap kekuatan tarik spesimen hasil *3D printing* berfilamen TPU 95A ?
3. Bagaimana pengaruh *layer height* dan *print speed* terhadap keuletan spesimen hasil *3D printing* berfilamen TPU 95A ?
4. Apakah terdapat pengaruh yang signifikan dari *layer height* dan *print speed* terhadap nilai kekerasan berdasarkan hasil uji ANOVA dua arah ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Penelitian ini difokuskan pada pengaruh variasi *layer height* dan *print speed* terhadap sifat mekanik spesimen TPU 95A, yaitu 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 ANOVA dua arah dan hanya diterapkan pada data hasil 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, geometri dan parameter pencetakan lain seperti *nozzle temperature*, *infill density*, dan *infill pattern*. Fokus penelitian terbatas pada dua variabel utama, yaitu *layer height* dan *print speed*, terhadap perubahan sifat mekanik TPU 95A.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan daripada penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui pengaruh *layer height* dan *print speed* terhadap nilai kekerasan, pada spesimen hasil cetak 3D menggunakan filamen TPU 95A.
2. Untuk mengetahui pengaruh *layer height* dan *print speed* terhadap nilai kekuatan tarik dan pada spesimen hasil cetak 3D menggunakan filamen TPU 95A.
3. Untuk mengetahui pengaruh *layer height* dan *print speed* terhadap nilai keuletan pada spesimen hasil cetak 3D menggunakan filamen TPU 95A.
4. Untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh yang signifikan dari *layer height* dan *print speed* terhadap nilai kekerasan berdasarkan hasil uji ANOVA dua arah.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi *layer height* dan *print speed* terhadap nilai kekerasan, kekuatan tarik, dan keuletan spesimen hasil cetak 3D menggunakan filamen TPU 95A.
2. Memberikan data eksperimental yang dapat digunakan sebagai referensi dalam pengaturan parameter pencetakan 3D pada material elastomer fleksibel.
3. Menjadi dasar pertimbangan dalam pemilihan parameter cetak untuk meningkatkan kualitas mekanik hasil produk 3D printing berbahan TPU 95A.
4. Mendukung pengembangan penelitian selanjutnya terkait proses pencetakan 3D dengan material fleksibel melalui pendekatan analisis mekanik dan statistik.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dalam penulisan pada laporan ini, yaitu :

BAB I Pendahuluan

Dalam bab pendahuluan ini memaparkan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Dalam bab tinjauan pustaka ini memaparkan penjelasan mengenai dasar teori yang mendasari penelitian pengaruh *layer height* dan *print speed* terhadap sifat mekanik pada spesimen produk *3D printing* berfilamen TPU 95A.

BAB III Metode Peneletian

Dalam bab ini memaparkan metode penelitian, diagram alir penelitian, peralatan dan bahan yang digunakan, desain spesimen uji, alat uji yang digunakan, serta prosedur pengujian spesimen.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Dalam bab ini memaparkan penjelasan mengenai analisa pengaruh *layer height* dan *print speed* terhadap sifat mekanik pada spesimen produk *3D printing* berfilamen TPU 95A.

BAB V Penutup

Dalam bab ini berisi kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya terkait dengan proses *3D printing* dengan menggunakan filamen fleksibel.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh *layer height* dan *print speed* terhadap sifat mekanik spesimen hasil *3D printing* berfilamen TPU 95A, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kekerasan tertinggi sebesar 77 Shore A diperoleh pada kombinasi *layer height* 0,2 mm dan *print speed* 70 mm/s, di mana lapisan tercetak lebih rapat dan padat. Nilai kekerasan terendah sebesar 69 Shore A terjadi pada kombinasi *layer height* 0,25 mm dan *print speed* 90 mm/s, yang menunjukkan lemahnya ikatan antar-lapisan akibat kecepatan *nozzle* yang tinggi dan lapisan yang lebih tebal.
2. Nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 26,099 MPa diperoleh pada kombinasi *layer height* 0,2 mm dan *print speed* 70 mm/s, menghasilkan ikatan antar-lapisan yang kuat pada struktur yang lebih padat. Sementara itu, nilai terendah sebesar 17,754 MPa terdapat pada kombinasi *layer height* 0,25 mm dan *print speed* 90 mm/s, yang menunjukkan menurunnya daya ikat akibat jarak antarlapisan yang lebih besar dan waktu pelekatan yang lebih singkat.
3. Keuletan tertinggi sebesar 151,12% diperoleh pada kombinasi *layer height* 0,25 mm dan *print speed* 70 mm/s. Kombinasi ini memungkinkan deformasi yang lebih besar karena struktur lapisan yang lebih tebal dan fleksibel. Nilai keuletan terendah sebesar 92,83% diperoleh pada kombinasi *layer height* 0,2 mm dan *print speed* 90 mm/s, yang menunjukkan struktur lapisan yang kaku dan rentan patah akibat kurang sempurnanya fusi lapisan karena *print speed* yang terlalu tinggi.
4. Berdasarkan hasil uji ANOVA dua arah terhadap data kekerasan, diketahui bahwa *layer height*, *print speed*, dan interaksi antara keduanya memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan. *Print speed* memberikan

kontribusi terbesar terhadap variasi kekerasan, yaitu sebesar 89,06%, diikuti oleh *layer height* sebesar 9,63%, dan interaksi keduanya sebesar 1,31%.

5.2 Saran

1. Analisis statistik hanya diterapkan pada data kekerasan karena keterbatasan jumlah spesimen. Penelitian selanjutnya disarankan menambah jumlah spesimen uji tarik dan keuletan agar semua data dapat dianalisis secara statistik inferensial.
2. Penelitian ini hanya memfokuskan pada *layer height* dan *print speed*. Disarankan untuk mengevaluasi juga parameter lain seperti suhu *nozzle*, *infill pattern*, dan orientasi cetak.
3. Referensi ilmiah mengenai TPU 95A dalam 3D printing masih terbatas. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian pustaka yang lebih luas dan terkini untuk memperkuat analisis.
4. Faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban belum diperhitungkan. Ke depan, variabel ini sebaiknya dipertimbangkan karena dapat memengaruhi kualitas cetakan TPU 95A.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. C. Pangaribuan and I. Irwansyah, "Media Cetak Indonesia di Era Revolusi Industri 4.0," *J. Pewarta Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 134–145, 2019, doi: 10.25008/jpi.v1i2.11.
- [2] P. Pristiansyah, H. Hasdiansah, and S. Sugiyarto, "Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex," *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 11, no. 01, pp. 33–40, 2019, doi: 10.33504/manutech.v11i01.98.
- [3] 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.
- [4] H. A. Pamasaria, Herianto, and T. H. Saputra, "Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Tipe Fdm (Fused Deposition Modeling) Terhadap Kualitas Hasil Produk," *Semin. Nas. IENACO*, pp. 1–7, 2019.
- [5] Hasdiansah and Herianto, "Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Elastisitas Produk Yang Dihasilkan," *Semin. Nas. Inov. Teknol. UN PGRI Kediri*, pp. 187–192, 2018.
- [6] E. I. Riza, C. Budiyanoro, and A. W. Nugroho, "Peningkatan Kekuatan Lentur Produk 3D Printing Berbahan Petg Dengan Optimasi Parameter Proses Menggunakan Metode Taguchi," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 21, no. 2, pp. 66–75, 2020, doi: 10.23917/mesin.v21i2.10856.
- [7] E. Paz, M. Jiménez, L. Romero, M. del M. Espinosa, and M. Domínguez, "Characterization of the resistance to abrasive chemical agents of test specimens of thermoplastic elastomeric polyurethane composite materials produced by additive manufacturing," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 138, no. 32, pp. 1–11, 2021, doi: 10.1002/app.50791.
- [8] M. Dylan, A. Soewono, and M. Darmawan, "Laju Aliran pada Nozzle Printer Tiga Dimensi untuk Material Thermoplastic PolyurethanePOLYURETHANE," *Cyclinder*, vol. 08, no. 01, pp. 1–7, 2022.
- [9] M. H. Nadhif *et al.*, "Anatomically and Biomechanically Relevant Monolithic Total Disc Replacement Made of 3D-Printed Thermoplastic Polyurethane," *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 19, 2022, doi: 10.3390/polym14194160.
- [10] 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.
- [11] G. S. Lubis, M. Taufiqurrahman, and M. Ivanto, "Analisa Pengaruh Parameter Proses Terhadap Uji Tarik Produk Hasil 3D Printing Berbahan

- Polylactic Acid,” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 5, no. 2, p. 39, 2021, doi: 10.30588/jeemm.v5i2.877.
- [12] H. K. Dave *et al.*, “Compressive Strength of PLA based Scaffolds: Effect of layer height, Infill Density and Print Speed,” *Int. J. Mod. Manuf. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 21–27, 2019.
- [13] E. Desnica, “THE INFLUENCE OF THE LAYER HEIGHT ON THE HARDNESS OF THE TPU PLASTIC SPECIMEN MADE BY 3D PRINTING,” pp. 77–83, 2024, doi: 10.46793/IIZS24.077J.
- [14] M. N. Hamidi, J. Abdullah, A. S. Mahmud, M. H. Hassan, and A. Y. Zainoddin, “Influence of thermoplastic polyurethane (TPU) and printing parameters on the thermal and mechanical performance of polylactic acid (PLA) / thermoplastic polyurethane (TPU) polymer,” *Polym. Test.*, vol. 143, no. December 2024, p. 108697, 2025, doi: 10.1016/j.polymertesting.2025.108697.
- [15] M. Attaran, “The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing,” *Bus. Horiz.*, vol. 60, no. 5, pp. 677–688, 2017, doi: 10.1016/j.bushor.2017.05.011.
- [16] C. Mawardi, *Pengantar 3D Printing*. Jakarta: polimedia, 2020. [Online]. Available: <https://www.scribd.com/document/888342873/Pengantar-3D-Printing>
- [17] H. A. Pamasaria, T. H. Saputra, A. S. Utama, and C. Budiyanoro, “Optimasi Keakuratan Dimensi Produk Cetak 3D Printing berbahan Plastik PP Daur Ulang dengan Menggunakan Metode Taguchi,” *JMPM (Jurnal Mater. dan Proses Manufaktur)*, vol. 4, no. 1, pp. 12–19, 2020, doi: 10.18196/jmpm.4148.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] F. Yasmin, M. Khan, and Q. Peng, “Optimization of Processing Parameters for 3D Printed Product Using Taguchi Method,” *Comput. Aided. Des. Appl.*, vol. 21, no. 2, pp. 281–300, 2024, doi: 10.14733/cadaps.2024.281-300.
- [21] 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.
- [22] W. Hidayat, “Klasifikasi Dan Sifat Material Teknik Serta Pengujian Material,” *J. Mater. Tek.*, vol. 4, pp. 1–19, 2019.

- [23] A. Marine, "Durometer Shore Hardness Scale Explained." Accessed: Jul. 18, 2025. [Online]. Available: <https://www.aeromarineproducts.com/durometer-shore-hardness-scale/>
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] M. Spoerk, J. Sapkota, G. Weingrill, T. Fischinger, F. Arbeiter, and C. Holzer, "Shrinkage and Warpage Optimization of Expanded-Perlite-Filled Polypropylene Composites in Extrusion-Based Additive Manufacturing," *Macromol. Mater. Eng.*, vol. 302, no. 10, pp. 1–13, 2017, doi: 10.1002/mame.201700143.
- [28] ASTM-C127, "Standard Test Methods for iTeh Standards iTeh Standards or to indicate the Preview," vol. i, pp. 1–4, 2015, doi: 10.1520/D0792-20.2.
- [29] 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.
- [30] Asmeati, M. Y. Ali, I. Purnama, and M. Paloboran, "Analisis uji mekanik dan struktur makro dan mikro terhadap material komposit dengan arah acak serat ampas tebu," *Media Komun. Pendidikan Teknol. dan Kejur.*, pp. 91–102, 2016.
- [31] P. Dennis, "Download the," vol. 13, no. 1, p. 2017, 2017, [Online]. Available: <http://geneontology.org/docs/download-ontology/>
- [32] 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.
- [33] D. A. Abadi, "Mechanical Properties of Materials," docslib.org. Accessed: Jul. 18, 2025. [Online]. Available: <https://docslib.org/doc/10540347/dr-ali-abadi-materials-properties-chapter-four-mechanical-properties-of-materials>
- [34] Icam Sutisna, "Statistika Penelitian," *Univ. Negeri Gorontalo*, pp. 1–15, 2020, [Online]. Available: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/62615506/TEKNIK_ANALISIS_DATA_PENELITIAN_KUANTITATIF20200331-52854-1ovrwlw-libre.pdf?1585939192=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DTeknik_Analisis_Data_Penelitian_K

uantita.pdf&Expires=1697869543&Signat

- [35] Z. Ali and S. B. Bhaskar, “Basic statistical tools in research and data analysis,” *Indian J. Anaesth.*, vol. 60, no. 9, pp. 662–669, 2016, doi: 10.4103/0019-5049.190623.
- [36] R. Padmore, K. Petersen, C. Campbell, M. Chennette, A. Sabourin, and J. Shaw, “Practical application of mathematical calculations and statistical methods for the routine haematology laboratory,” *Int. J. Lab. Hematol.*, vol. 44, no. S1, pp. 11–20, 2022, doi: 10.1111/ijlh.13934.
- [37] S. Tinggi and F. Muhammadiyah, “Reza Aditya Sunaryo, Mohammad Zaky, La Ode Akbar Rasydy 2020,” vol. VII, no. 2, pp. 61–67, 2020.
- [38] A. Anisa Fitri, Rani Rahim, Nurhayati, A. M. Sadrack Luden Pagiling, Irmawaty Natsir, and N. E. A. Daniel Nicson Simanjuntak, Kartini Hutagaol, *Dasar-dasar Statistika untuk Penelitian*. 2023. [Online]. Available: <https://kitamenulis.id/2023/08/30/dasar-dasar-statistika-untuk-penelitian/>
- [39] R. L. Webb, *Mostly Harmless Statistics*. 2025. [Online]. Available: [https://stats.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Statistics/Mostly_Harmless_Statistics_\(Webb\)](https://stats.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Statistics/Mostly_Harmless_Statistics_(Webb))
- [40] 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.
- [41] R. Sianturi, “Uji homogenitas sebagai syarat pengujian analisis,” *J. Pendidikan, Sains Sos. dan Agama*, vol. 8, no. 1, pp. 386–397, 2022, doi: 10.53565/pssa.v8i1.507.
- [42] A. I. Mayasari, T. Wuryandari, and A. Hoyyi, “Optimalisasi Proses Produksi Yang Melibatkan Beberapa Faktor Dengan Level Yang Berbeda Menggunakan Metode Taguchi,” *J. Gaussian*, vol. 3, no. 3, pp. 303–312, 2014, [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/gaussian>
- [43] Amalia H. Islamiyah and Muassomah, “Strategi Group Investigation dalam Pembelajaran Mahārat al-Qirā’ah pada Mahasiswa Jurusan Bahasa dan Sastra Arab, UIN Maulana Malik Ibrahim, Malang,” *Al-Ma’rifah*, vol. 17, no. 1, pp. 1–11, 2020, doi: 10.21009/almakrifah.17.01.01.
- [44] N. Vidakis *et al.*, “Strain rate sensitivity of polycarbonate and thermoplastic polyurethane for various 3d printing temperatures and layer heights,” *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 16, 2021, doi: 10.3390/polym13162752.
- [45] V. M. Bruère, A. Lion, J. Holtmannspötter, and 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.
- [46] Settrerox, “eSUN TPU-HS Filament.” Accessed: Jun. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.setterox.ae/products/esun-etpu-hs?variant=44602774159417>

- [47] RSNI3, “Metode uji standar untuk densitas dan berat jenis (densitas relatif) plastik dengan metode displacement,” 2024.
- [48] M. León-Calero, S. C. Reyburn Valés, Á. Marcos-Fernández, and J. Rodríguez-Hernandez, “3D printing of thermoplastic elastomers: Role of the chemical composition and printing parameters in the production of parts with controlled energy absorption and damping capacity,” *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 20, 2021, doi: 10.3390/polym13203551.
- [49] 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.
- [50] J. A. Walter CRUPANO¹, Bàrbara ADROVER-MONSERRAT², Jordi LLUMÀ³ and TRAVIESO-RODRIGUEZ⁴, “INFLUENCE OF PRINTING PARAMETERS IN THE INTER-LAYER BONDS FORMATION IN THERMOPLASTIC POLYURETHANE,” 2024, [Online]. Available: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/413874/Paper-ICMSM_2024-def.pdf

