

**ANALISIS PENGARUH *NOZZLE TEMPERATURE* DAN *PRINT SPEED* TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA HASIL CETAK
3D PRINTING BERFILAMEN TPU 95A DENGAN *LAYER HEIGHT* 0,2 MM**

SKRIPSI

ADITIYA DWI SYAPUTRA

20210110067



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

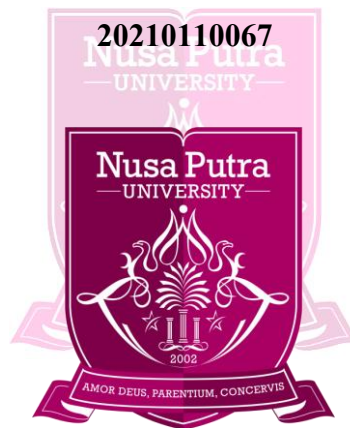
2025

**ANALISIS PENGARUH *NOZZLE TEMPERATURE* DAN *PRINT SPEED* TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA HASIL CETAK
3D PRINTING BERFILAMEN TPU 95A DENGAN *LAYER HEIGHT* 0,2 MM**

SKRIPSI

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

ADITIYA DWI SYAPUTRA



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

PERNYATAAN PENULIS

JUDUL : ANALISIS PENGARUH *NOZZLE TEMPERATURE* DAN *PRINT SPEED* TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA HASIL CETAK 3D *PRINTING* BERFILAMEN TPU 95A DENGAN *LAYER HEIGHT* 0,2 MM

Nama : ADITIYA DWI SYAPUTRA

Nim : 20210110067

“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. Jikssa 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, 30 juli 2025

Materai

Aditiya Dwi Syaputra

PERSETUJUAN SKRIPSI

JUDUL : ANALISI PENGARUH *NOZZLE TEMPERATURE* DAN *PRINT SPEED* TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA HASIL CETAK 3D *PRINTING* BERFILAMEN TPU 95A DENGAN *LAYER HEIGHT* 0,2 MM

Nama : ADITIYA DWI SYAPUTRA

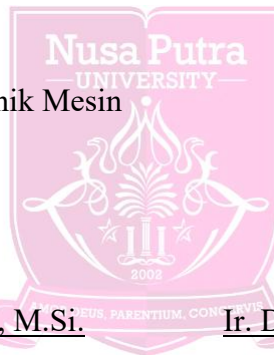
Nim : 20210110067

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui

Sukabumi, 30 juli 2025

Ketua Program Studi Teknik Mesin

Dosen Pembimbing



Lazuardi Akmal Islami, M.Si.

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

NIDN: 0415039402

NIDN: 0429038703

PENGESAHAN SKRIPSI

JUDUL : ANALISI PENGARUH *NOZZLE TEMPERATURE* DAN *PRINT SPEED* TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA HASIL CETAK 3D *PRINTING* BERFILAMEN TPU 95A DENGAN *LAYER HEIGHT* 0,2 MM

Nama : Aditiya Dwi Syaputra

Nim : 20210110067

Skripsi ini telah di ujikan dan di pertahankan di depan dewan penguji pada sidang skripsi tanggal 21 juli 2025. Menurut pandangan kami, skripsi ini memadai dari segi kualitas untuk tujuan penganugerahan gelar Sarjana Teknik (S.T).

Sukabumi, 30 Juli 2025

Dosen Pembimbing

Penguji I

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

Lazuardi Akmal Islami, M.Si.

NIDN: 0429038703

NIDN: 0415039402

Penguji II

Ketua Program Studi Teknik Mesin



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

Lazuardi Akmal Islami, M.Si.

NIDN: 0406029002

NIDN: 0415039402

Plh. Dekan Fakultas Teknik Komputer dan Desain

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

NIDN: 0402037401

MOTTO

“kesalahan terbesar seseorang adalah menganggap bahwa masih ada hari esok”

"Langkah kecil hari ini adalah bagian dari mimpi besar di masa depan."

"Jangan menyerah hanya karena lelah. Ingat lagi untuk apa kamu mulai."

(Boy Candra)



PERSEMBAHAN

Dengan segenap rasa syukur kepada Allah SWT, karya skripsi ini saya persembahkan sebagai bentuk penghargaan dan ungkapan terima kasih yang mendalam kepada:

1. Ibu Ika Kartika, Ibu yang penuh kasih, tempat saya pulang dalam setiap doa dan pelukan hangatnya. Terima kasih atas segala cinta, kesabaran, dan dukungan tanpa batas yang tak pernah henti mengalir di setiap langkah hidup saya. Doa Ibu adalah cahaya dalam gelap dan kekuatan saat saya lelah. Bapak Juabaedi, ayah yang tegas namun penuh cinta, yang tak kenal lelah berjuang demi masa depan anak-anaknya. terima kasih atas kerja keras, keikhlasan, dan semangat yang selalu tanamkan. di mana beliau adalah teladan dalam keteguhan dan keikhlasan.
2. Kakak Rizaldi, Terima kasih atas semangat dan teladan yang selalu diberikan. kehadiran dan dukunganmu membuatku merasa tidak pernah berjalan sendirian. Kedua adik perempuanku tercinta terima kasih atas tawa, kebersamaan, dan semangat yang kalian berikan. Kalian adalah pengingat bahwa keluarga adalah rumah terbaik untuk pulang, dan alasan untuk terus melangkah maju.
3. Saya persembahkan karya ilmiah ini kepada seluruh dosen program studi Teknik Mesin yang tidak hanya mengajar dengan ilmu, tetapi juga membimbing dengan hati, Terima kasih atas kesabaran, semangat, dan inspirasi yang telah diberikan. Setiap teguran, dorongan, dan pelajaran baik di dalam maupun di luar kelas, dimana telah menjadi bagian penting dalam perjalanan saya tumbuh, bukan hanya sebagai mahasiswa, tetapi juga sebagai manusia yang belajar bertanggung jawab dan berpikir kritis.
4. Teman-teman seperjuangan, Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, dan semangat yang kalian berikan. Kalian yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, telah menjadi bagian penting dalam perjalanan ini.
5. Kepada seseorang yang pernah bersama penulis dan tidak bisa penulis sebut namanya, terima kasih atas patah hati yang turut mewarnai proses penyusunan tugas akhir ini. Ternyata perginya anda memberi ruang bagi penulis untuk tumbuh, belajar arti sabar, kehilangan, dan pendewasaan. Terimakasih telah

menjadi bagian menyenangkan sekaligus menyakitkan. Pada akhirnya, setiap orang ada masanya, dan setiap masa ada orangnya.

penulis menyadari bahwa laporan Karya Ilmiah Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna dan masih terdapat berbagai kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran serta kritik yang membangun guna perbaikan di masa mendatang.

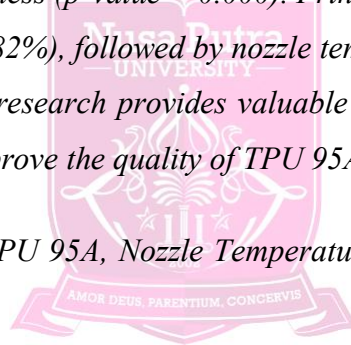
Sukabumi, 30 juli 2025



ABSTRACT

This study analyzes the effect of nozzle temperature and print speed variations on the mechanical properties of 3D-printed specimens using TPU 95A filament. The tested parameters include nozzle temperatures of 220°C and 230°C, and print speeds of 70 mm/s, 80 mm/s, and 90 mm/s. Constant parameters were set at a 0.2 mm layer height, 100% infill, 60°C bed temperature, and concentric infill pattern. Mechanical tests were conducted to evaluate hardness, tensile strength, elongation at break, and density, following ASTM D2240-15, ASTM D792-20, and JIS K6251:2017 standards. The highest hardness (74.8 Shore A) and maximum tensile strength (28.21 MPa) were achieved at 220°C and 70 mm/s, while the highest elongation at break (137.0%) occurred at 230°C and 90 mm/s. Two-way ANOVA results indicated that nozzle temperature, print speed, and their interaction significantly affected hardness ($p\text{-value} = 0.000$). Print speed contributed the most to hardness variation (91.82%), followed by nozzle temperature (6.89%) and their interaction (1.15%). This research provides valuable insights into optimizing 3D printing parameters to improve the quality of TPU 95A-based printed products.

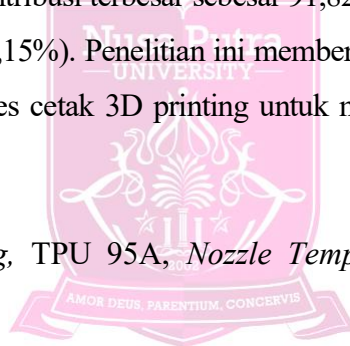
Keywords: 3D Printing, TPU 95A, Nozzle Temperature, Print Speed, mechanical properties,



ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi *nozzle temperature* dan *print speed* terhadap sifat mekanik hasil cetak *3D printing* menggunakan filamen TPU 95A. Parameter yang diuji meliputi *nozzle temperature* (220°C dan 230°C) serta *print speed* (70 mm/s, 80 mm/s, dan 90 mm/s), dengan parameter tetap yaitu *layer height* 0,2 mm, *infill* 100%, *bed temperature* 60°C, dan pola *infill concentric*. Uji mekanik meliputi kekerasan, kekuatan tarik, keuletan, dan densitas dengan acuan standar ASTM D2240-15, ASTM D792-20, dan JIS K6251:2017. Hasil menunjukkan kombinasi 220°C dan 70 mm/s menghasilkan kekerasan tertinggi (74,8 Shore A) dan kekuatan tarik maksimum (28,21 MPa), sedangkan keuletan tertinggi (137,0%) dicapai pada kombinasi 230°C dan 90 mm/s. Hasil uji ANOVA dua arah menunjukkan bahwa *nozzle temperature*, *print speed*, dan interaksinya berpengaruh signifikan terhadap kekerasan (signifikansi 0,000). *Print speed* memberikan kontribusi terbesar sebesar 91,82%, diikuti *nozzle temperature* (6,89%) dan interaksinya (1,15%). Penelitian ini memberikan informasi penting dalam optimalisasi parameter proses cetak *3D printing* untuk meningkatkan kualitas produk berbahan TPU 95A.

Kata Kunci: *3D Printing*, TPU 95A, *Nozzle Temperature*, *Print Speed*, sifat mekanik



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat dan para pengikutnya. Pencapaian ini tentu tidak lepas dari dukungan dari berbagai pihak sehingga dapat terlaksana dengan baik dan lancar, oleh karena itu tidak lupa saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada Yth :

1. Orang tua dan Keluarga yang selalu memberi support secara moral maupun materil, memotivasi dalam menempuh pendidikan.
2. Bapak Dr. Kurniawan ST.,M.Si.,MM selaku Rektor Universitas Nusa Putra.
3. Bapak Lazuardi Akmal Islami, M.Si selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin.
4. Bapak Ir. Dani Mardiyana S.Pd., M.T. Selaku Dosen Pembimbing Skripsi.
5. Bapak Lazuardi Akmal Islami, M.Si dan Ir. Fabrobi Fazlur Ridha, B.Eng., M.T. selaku dosen penguji.
6. Segenap teman-teman satu perjuangan yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari akan keterbatasan ilmu pengetahuan yang dimiliki dalam penyusunan skripsi ini sehingga masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis selalu mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan dimasa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca terkhusus bagi penulis.

Sukabumi, 30 Juli 2025

Aditiya dwi syaputra

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

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

Nama : Aditiya Dwi Syaputra

Nim : 20210110067

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:

“ANALISIS PENGARUH *NOZZLE TEMPERATURE* DAN *PRINT SPEED* TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA HASIL CETAK 3D *PRINTING* BERFILAMEN TPU 95A DENGAN *LAYER HEIGHT* 0,2 MM”, 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 : Agustus 2025

Yang menyatakan

(Aditiya Dwi Syaputra)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN PENULIS	ii
PERSETUJUAN SKRIPSI.....	iii
PENGESAHAN SKRIPSI.....	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRACT	viii
ABSTRAK	ix
KATA PENGANTAR.....	x
HALAMAN PERNYATAAN.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	ii
DAFTAR ISTILAH	iv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 3D <i>Printing</i>	Error! Bookmark not defined.
2.2 Parameter.....	Error! Bookmark not defined.
2.3 Filamen.....	Error! Bookmark not defined.
2.4 Kekerasan	Error! Bookmark not defined.
2.4.1 Uji Kekerasan Pada Material Karet Elastometer.....	Error! Bookmark not defined.
2.4.2 Uji Densitas.....	Error! Bookmark not defined.
2.5 Uji Kekeuatan Tarik	Error! Bookmark not defined.
2.5.1 Uji Tarik Pada Karet Elastometer	Error! Bookmark not defined.
2.5.2 Keuletan.....	Error! Bookmark not defined.

2.6	Analisis Stastistik Pada Uji Kekerasan...	Error! Bookmark not defined.
2.6.1	Stastistik Dekriptif.....	Error! Bookmark not defined.
2.6.2	Uji Normalitas.....	Error! Bookmark not defined.
2.6.3	Standar Deviasi	Error! Bookmark not defined.
2.6.4	Analisis ANOVA	Error! Bookmark not defined.
2.7	Persentase Kontribusi	Error! Bookmark not defined.
2.8	Penelitian Sebelumnya	Error! Bookmark not defined.
2.9	Motode Eksperimen.....	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		Error! Bookmark not defined.
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.2	Studi Literatur.....	Error! Bookmark not defined.
3.3	Persiapan Alat Dan Bahan.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.1	Alat Yang Digunakan Saat Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.3.2	Bahan	Error! Bookmark not defined.
3.4	Desain Specimen Uji ASTM D2040-15, Uji Densitas D792-20 dan JIS K6251-2017	Error! Bookmark not defined.
3.4.1	Desain Uji Kekerasan ASTM D2240-15	Error! Bookmark not defined.
3.4.2	Desain Uji Densitas ASTM D792-20	Error! Bookmark not defined.
3.4.3	Desain Uji Tarik JIS K6251-2017	Error! Bookmark not defined.
3.5	Proses Pembuatan Spesimen	Error! Bookmark not defined.
3.6	Proses Pengujian Spesimen	Error! Bookmark not defined.
3.6.1	Pengujian Kekerasan Standar ASTM D2240-15	Error! Bookmark not defined.
3.6.2	Pengujian Densitas ASTM D792-20	Error! Bookmark not defined.
3.6.3	Pengujian Tarik JIS K6251-2017	Error! Bookmark not defined.
3.7	Analisis Pengaruh <i>Nozzle Temperature</i> dan <i>Print Speed</i>	Error! Bookmark not defined.
3.8	Metode Analisis Data	Error! Bookmark not defined.
3.8.1	Analisis Data Uji Kekerasan.....	Error! Bookmark not defined.
3.8.2	Analisis Hasil Uji Densitas	Error! Bookmark not defined.
3.8.3	Analisis Data Hasil Uji Tarik Dan Keuletan	Error! Bookmark not defined.
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		Error! Bookmark not defined.
4.1	Hasil Pengujian Kekerasan.....	Error! Bookmark not defined.

4.1.1	Hasil Pengujian Densitas	Error! Bookmark not defined.
4.2	Data Hasil Pengujian Tarik	Error! Bookmark not defined.
4.2.1	Hasil Pengujian Keuletan.....	Error! Bookmark not defined.
4.3	Analisis Staktistik Pada Kekerasan	Error! Bookmark not defined.
4.3.1	Hasil Uji Normalitas Data Kekerasan	Error! Bookmark not defined.
4.3.2	Hasil Uji Homogenitas Variasi	Error! Bookmark not defined.
4.3.3	Hasil Uji ANOVA Dua Arah.....	Error! Bookmark not defined.
4.3.4	Persen Kontribusi.....	Error! Bookmark not defined.
4.4	Pembahasan	Error! Bookmark not defined.
4.4.1	Pembahasan Hasil Uji Kekerasan	Error! Bookmark not defined.
4.4.2	Hubungan Nilai Densitas Terhadap Kekerasan	Error! Bookmark not defined.
4.4.3	Pembahasan Hasil Kekuatan Tarik ...	Error! Bookmark not defined.
4.4.4	Pembahasan Hasil Keuletan.....	Error! Bookmark not defined.
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	68
5.1	Kesimpulan.....	5
5.2	Saran.....	6
DAFTAR PUSTAKA		7
LAMPIRAN.....		Error! Bookmark not defined.



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komponen Pada Mesin 3D <i>Printing</i> ender 3 pro dan Fungsinya [15].	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.2 Karakteristik Keunggulan Material TPU 95A Esun [17].....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.1 Parameter Proses Cetak.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.2 Spesifikasi Mesin 3D <i>Printing</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.3 Spesifikasi Mesin Uji Tarik	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.4 Spesifikasi Filamen TPU 95A Esun.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekerasan	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.2 <i>Descriptive Statistics</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.3 Hasil Penimbangan Spesimen.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.4 Hasil Uji Densitas	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.5 Hasil Uji Tarik <i>Tensile Break</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Perubahan Panjang Dari Uji Tarik.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.7 Hasil Keuletan.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.8 Hasil Output Uji Normalitas	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.9 Hasil Output Uji Homogenitas.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Anova Dua Arah Pada Kekerasan.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.11 Persen Kontribusi.....	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mesin 3D <i>Printing Ender 3 Pro</i> [14]	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.2 Jenis-Jenis Infill Pattern [15].....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.3 Skala Kekerasan Shore A [20]	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.4 Skala Durometer [17].	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.5 Mesin Uji Tarik Di Lengkapi Spesimen [26].	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.6 Ilustrasi Proses Uji Tarik Dan Grafik Tegangan-Regangan.[26].	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.7 Ilustrasi Perilaku Tegangan-Regangan Material Ulet Dan Getas	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.8 Keuletan [33].....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.2 Laptop Yang Di Gunakan Selama Penelitian	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.3 <i>Software Ultimaker Cura</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.4 <i>Software Autodesk Inventor</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.5 <i>Software Origin Pro</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.6 <i>Software IBM SPSS Versi 20</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.7 <i>Scraper</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.8 Mesin 3D <i>printing ender 3 pro</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.9 Timbangan Analitik.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.10 Gelas Ukur 250 ml	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.11 Alat Uji Kekerasan Durometer.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.12 <i>Vernier Caliper</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.13 Alat Uji Tarik	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.14 Filamen TPU 95A	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.15 Metanol.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.16 Dimensi Spesimen Uji Kekerasan ASTM D2240-15	Error! Bookmark not defined.

Gambar 3.17 Dimensi Spesimen Uji Densitas ASTM D792-20**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.18 Dimensi Spesimen Uji Kekuatan Tarik JIS K6251-2017 **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.19 Mengekspor File Kedalam Format Stl**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.20 *Software Ultimaker Cura***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.21 Pengaturan Letak Sebelum Proses Pencetakan**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.22 Pemindahan File**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.23 Layar Monitor Pengaturan Mesin 3d *Printing***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.24 Tempat Awal Memasukan Filamen .**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.25 Proses Pencetakan Spesimen.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.26 (a) Spesimen Kekerasan, (b) Spesimen Densitas dan (c) Spesimen Uji Tarik Hasil Pencetakan 3D *Printing***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.27 Spesimen Uji Kekerasan**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.28 Ilustrasi Titik Pada Proses Pengujian Kekerasan**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.29 Proses Pengujian Kekerasan.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.30 Pengukuran Suhu Metanol**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.31 (a) Kalibrasi Timbangan Digital, (b) Menimbang Berat Spesimen Di Udara dan (c) Menimbang Spesimen di Dalam Cairan (Metanol) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.32 Spesimen Uji Tarik.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.33 Ilustrasi Pemasangan Spesimen [27]**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.34 Spesimen Setelah Dilakuka Uji Tarik**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.1 Nilai *Mean* Kekerasan.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.2 Nilai Hasil Uji Densitas.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.3 Grafik Nilai Rata-Rata Tensile Break **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.4 Grafik Hasil Uji Keuletan**Error! Bookmark not defined.**

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	: Megapascal (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

Industri manufaktur terus mengembangkan proses untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi dalam memproduksi produk. Salah satu proses manufaktur yang mengalami pertumbuhan pesat adalah manufaktur aditif atau dikenal dengan pencetakan 3D *printing*. Hal ini menjadi salah satu faktor pendukung berkembangnya revolusi industri 4.0 [1]. Teknologi manufaktur aditif sendiri telah banyak diminati baik oleh industri maupun akademisi karena kemampuannya dalam memberikan solusi terhadap permasalahan desain yang memiliki struktur kompleks dan mengurangi *lead time* dengan tetap menjaga kualitas hasil cetak [2]. Saat ini, proses FDM adalah proses pencetakan 3D *printing* paling populer karena pengaturannya yang sederhana, biaya per perangkat yang rendah, dan ramah lingkungan [3].

FDM (*Fused Deposition Modeling*) adalah metode manufaktur yang populer pada pemodelan AM (*Additive Manufacturing*) yang juga digunakan oleh produk yang diproduksi menggunakan proses tersebut. Produk-produk ini dapat dibandingkan dengan proses konvensional (*Injection Moulding*) [4]. Prinsip kerja FDM adalah melelehkan filamen termoplastik melalui nozzle panas pada suhu tertentu, kemudian bahan tersebut diekstrusi menjadi lapis demi lapis [5]. 3D *printing* atau pencetakan 3D telah menjadi salah satu metode yang penting dalam produksi berbagai produk [6]. Dalam hal ini, filamen TPU 95A (*Thermoplastic Polyurethane*) adalah salah satu bahan yang digunakan dalam 3D *printing* karena keunggulannya dalam keuletan, elastisitas, dan ketahanan terhadap benturan [7].

Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas produk yang dicetak menggunakan 3D *printing* adalah suhu nozzle (*Nozzle Temperatur*) dan kecepatan cetak (*Print Speed*). *Nozzle Temperatur* mengacu pada suhu material yang ditempatkan dalam nozzle, sedangkan *Print speed* merupakan kecepatan pergerakan nozzle atau head printer dalam mengeluarkan material [8]. Dalam hal ini, penting untuk memahami bagaimana variasi *Nozzle Temperatur* dan *Print*

Speed mempengaruhi karakteristik mekanis dari hasil cetak *3D printing*, terutama pada sifat mekanik kekerasan, kuat tarik dan keuletan [9], [10].

Kekerasan adalah ukuran dari ketahanan sebuah material terhadap goresan atau deformasi permanen, sementara kuat tarik mengukur kemampuan material untuk menahan beban tarik sebelum mengalami kegagalan atau putus dan Keuletan (*ductility*) adalah kemampuan suatu material untuk mengalami deformasi plastis yang signifikan sebelum mengalami patah [11], [12].

Studi ini bertujuan untuk menganalisis dampak Variasi *Nozzle Temperatur* dan *Print Speed* terhadap kekerasan, kekuatan tarik dan keuletan Informasi yang dihasilkan dari analisis ini dapat memberikan wawasan yang berharga bagi para pengguna industri *3D printing* untuk mengoptimalkan parameter cetakan guna mencapai produk dengan kualitas yang diinginkan terutama pada bahan filamen TPU 95A.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka yang menjadi rumusan masalah dalam penulisan riset ini yaitu:

1. Bagaimana analisis dari pengaruh variasi *nozzle temperatur* dan *print speed* terhadap nilai kekerasan spesimen hasil cetak *3D printing* berfilamen TPU 95A?
2. Apakah *nozzle temperature* dan *print speed* berpengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan berdasarkan hasil uji ANOVA dua arah?
3. Bagaimana pengaruh *nozzle temperature* dan *print speed* terhadap nilai kekuatan tarik spesimen hasil cetak *3D printing* berfilamen TPU 95A?
4. Bagaimana pengaruh *nozzle temperature* dan *print speed* terhadap nilai keuletan spesimen hasil cetak *3D printing* berfilamen TPU 95A?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini ditetapkan untuk memperjelas ruang lingkup kajian agar penelitian lebih terarah dan tidak menyimpang dari fokus utama yaitu:

1. Penelitian ini hanya menganalisis pengaruh kombinasi *nozzle temperature* dan *print speed* terhadap sifat mekanik hasil cetak, yaitu kekerasan, kekuatan tarik, dan keuletan spesimen TPU 95A.

2. Uji statistik yang digunakan untuk menilai pengaruh signifikan hanya terbatas pada analisis ANOVA dua arah terhadap data kekerasan spesimen.
3. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah filamen termoplastik TPU 95A, tanpa membandingkan dengan jenis filamen lainnya.
4. Proses pencetakan dilakukan menggunakan satu jenis printer 3D FDM, dengan parameter tetap selain *nozzle temperature* dan *print speed* (seperti *layer height*, *infill density*, dan *bed temperature*).

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai tujuan yang hendak dicapai untuk dapat memberikan manfaat. Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui hasil analisis dari pengaruh variasi *nozzle temperature* dan *print speed* terhadap nilai kekerasan pada spesimen hasil cetak 3D *printing* berfilamen TPU 95A.
2. Untuk mengetahui apakah *nozzle temperature* dan *print speed* berpengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan berdasarkan hasil uji ANOVA dua arah.
3. Untuk mengetahui pengaruh *nozzle temperature* dan *print speed* terhadap nilai kekuatan tarik pada spesimen hasil cetak 3D *printing* berfilamen TPU 95A.
4. Untuk mengetahui pengaruh *nozzle temperature* dan *print speed* terhadap nilai keuletan pada spesimen hasil cetak 3D *printing* berfilamen TPU 95A.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini mempunyai tujuan yang hendak dicapai untuk dapat memberikan manfaat, baik secara teoritis maupun praktis. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai acuan pengaturan parameter cetak, Memberikan referensi mengenai pengaturan *nozzle temperature* dan *print speed* yang baik untuk mendapatkan hasil cetak dengan sifat mekanik yang optimal pada filamen TPU 95A.
2. Penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas cetak, terutama dari segi kekuatan dan kekerasan, sehingga produk lebih layak dan fungsional.
3. Menambah wawasan di bidang teknologi 3D *printing*, Menjadi tambahan literatur dalam bidang manufaktur aditif, khususnya terkait penggunaan material fleksibel seperti TPU 95 A, bagi peneliti, mahasiswa, maupun praktisi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini disusun secara terstruktur agar memudahkan pembaca dalam memahami isi dan alur penelitian. Adapun sistematika penulisan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Pada bab pendahuluan ini berisi mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab tinjauan pustaka ini berisi penjelasan mengenai dasar teori yang mendasari penelitian mengenai pengaruh *nozzle temperature* dan *print speed* terhadap sifat mekanik pada spesimen hasil cetak 3D *printing* berfilamen TPU 95A.

BAB III Metode Penelitian

Bab ini berisi penjelasan mengenai metode yang digunakan dalam penelitian, termasuk diagram alir proses penelitian, alat dan bahan yang digunakan, desain spesimen uji, peralatan pengujian, serta langkah-langkah atau prosedur dalam melakukan pengujian spesimen.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Dalam bab ini berisi penjelasan mengenai analisa pengaruh *nozzle temperature* dan *print speed* terhadap sifat mekanik pada spesimen hasil cetak 3D *printing* berfilamen TPU 95A.



BAB II

KESIMPULAN DAN SARAN

2.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai “Analisis Pengaruh *Nozzle Temperature* dan *Print Speed* terhadap Sifat Mekanik pada Hasil Cetak 3D *Printing* Berfilamen TPU 95A Dengan *Layer Height* 0,2 mm”, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kombinasi parameter *nozzle temperature* 220°C dan *print speed* 70 mm/s menghasilkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 74,8 Shore A, sedangkan kombinasi *nozzle temperature* 230°C dan *print speed* 90 mm/s menghasilkan kekerasan terendah sebesar 63,6 Shore A. Hal ini menunjukkan bahwa variasi *nozzle temperature* dan *print speed* memberikan pengaruh terhadap kekerasan spesimen TPU 95A.
2. Berdasarkan hasil uji ANOVA dua arah, *nozzle temperature* dan *print speed* serta interaksi keduanya memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan spesimen dengan nilai signifikansi sebesar 0 ($p < 0,05$). Dari hasil perhitungan kontribusi, diketahui bahwa *print speed* memberikan pengaruh terbesar terhadap kekerasan sebesar 91,82%, *nozzle temperature* sebesar 6,89%, dan interaksi keduanya sebesar 1,15%.
3. Pengujian kekuatan tarik menunjukkan bahwa kombinasi *nozzle temperature* 230°C dan *print speed* 70 mm/s menghasilkan nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 28,21 MPa. Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah sebesar 23,89 MPa diperoleh pada kombinasi *nozzle temperature* 220°C dan *print speed* 90 mm/s. Hal ini menunjukkan bahwa *nozzle temperature* yang lebih tinggi dan kecepatan cetak yang lebih rendah dapat meningkatkan kekuatan tarik material TPU 95A.
4. Pada hasil pengujian keuletan, kombinasi *nozzle temperature* 230°C dan *print speed* 90 mm/s memberikan keuletan tertinggi sebesar 137,0%. Sedangkan nilai keuletan terendah sebesar 125,0% ditemukan pada kombinasi *nozzle temperature* 220°C dan *print speed* 70 mm/s. Keuletan

yang lebih tinggi diperoleh pada kecepatan cetak tinggi dan suhu nozzle yang lebih tinggi.

2.2 Saran

1. Disarankan untuk mengembangkan penelitian dengan menambahkan variasi parameter cetak, seperti pola *infill*, *layer height* dan kepadatan *infill*. kemudian mengevaluasi pengaruh pola *infill*, *layer height* tingkat kepadatan *infill*, selain *noozle tempeture* dan *print speed* Faktor-faktor ini berpotensi memengaruhi sifat mekanik TPU 95A secara signifikan terutama dalam mencapai keseimbangan yang ideal antara kekerasan dan fleksibilitas.
2. Selain parameter cetak mesin 3D *printing* juga berpengaruh, gunakan mesin 3d printer yang lebih proper dari mesin *ender 3 pro* guna mencapai hasil yang lebih baik, kemudian perhatikan suhu penyimpanan filemen terutama pada tpu 95A.
3. Pastikan mesin 3D *printing* memiliki kontrol suhu yang setabil selama pencetakan, terutama proses pencetakan menggunakan filemen TPU 95A. penggunaan 3D *printing* dengan suhu yang stabil akan memebantu menghindari penurunan adhesi antar lapisan akibat suhu yang tidak stabil
4. Gunakan parameter yang sama pada filamen yang berbeda untuk mengetahui hasil dari pengujian sifat mekanik pada filemen yang berbeda dengan parameter yang sama guna memperluas pengetahuan dari pengaruh parameter cetak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Cahyati, “Effect on Tensile Strength of 3D Printing Product Pla,” no. November 2020, pp. 647–657, 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] R. Rosa, M. Subhan, and P. Pristiansyah, “Pengaruh Parameter Proses Pada Pencetakan 3D Printing Terhadap Akurasi Dimensi Filamen Petg Menggunakan Metode Taguchi,” *J. Inov. Teknol. Terap.*, vol. 2, no. 1, pp. 79–87, 2024, doi: 10.33504/jitt.v2i1.149.
- [4] 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.
- [5] A. S. Putri, B. W. Karuniawan, and F. Rachman, “Analisis Pengaruh Variasi Parameter 3D Printing terhadap Kekuatan Tarik , Kekuatan Impak , dan Building Time menggunakan Metode Taguchi – Grey Relational Analysis,” no. 2654, pp. 197–202.
- [6] 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.
- [7] V. Beloshenko *et al.*, “Mechanical properties of flexible tpu-based 3d printed lattice structures: Role of lattice cut direction and architecture,” *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 17, pp. 1–11, 2021, doi: 10.3390/polym13172986.
- [8] A. A. Ansari and M. Kamil, “Effect of print speed and extrusion temperature on properties of 3D printed PLA using fused deposition modeling process,” *Mater. Today Proc.*, vol. 45, no. xxxx, pp. 5462–5468, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.137.

- [9] H. Jeon, J. Park, S. Kim, K. Park, and C. Yoon, "Effect of nozzle temperature on the emission rate of ultrafine particles during 3D printing," *Indoor Air*, vol. 30, no. 2, pp. 306–314, 2020, doi: 10.1111/ina.12624.
- [10] A. Nuzulia, "The effect of print speed on surface roughness and density uniformity of parts produced using binder jet 3d printing," *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., pp. 5–24, 1967, [Online]. Available: <https://images.app.goo.gl/BEc4EoT1e9LBgSXY7>
- [11] F. . Purba, Y. Umardani, and A. Suprihanto, "Analisa Pengaruh Tekanan dan Suhu Terhadap Pengujian Hasil Pembuatan Insol Sepatu dari Material Komposit Silicone Rubber dan Talc Menggunakan Cetakan Alumunium dengan Proses Injection Molding," *J. Tek. Mesin S-I*, vol. 11, no. 1, pp. 1–15, 2023.
- [12] M. H. Maulana and V. A. Setyowati, "Pengaruh Jumlah Layer Dan Orientasi Sudut Filler Karbon Pada Polymer Matrix Composite Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impact," *Semin. Nas. Teknol. Ind. Berkelanjutan I (SENASTITAN I)*, vol. 1, pp. 285–291, 2021.
- [13] C. Mawardi, "Doc. Name: Pengantar 3D Printing © 2020.," 2020.
- [14] M. Taguchi, "Optimasi Keakuratan Dimensi Produk Cetak 3D Printing berbahan Plastik PP Daur Ulang dengan Menggunakan Metode Taguchi," vol. 4, no. 1, pp. 12–19, 2020.
- [15] Creality, "Ender 3 Pro Technical Specifications," Creality-Official. Accessed: Jul. 23, 2025. [Online]. Available: <https://www.creality.com/>
- [16] 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.
- [17] Setterox, "Karakteristik Keunggulan Material TPU 95A." Accessed: Jul. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.setterox.ae/products/esun-etpuhs?variant=44602774159417>

- [18] B. A. B. Ii, S. Hardening, K. Singkong, and K. Aktif, “Pengujian kekerasan pada material,” pp. 7–27, 2016.
- [19] T. Dan and S. Mikro, “ANALISIS PENGARUH WAKTU PERENDAMAN PROSES DEEP CRYOGENIC TREATMENT PADA BESI COR KELABU FC25 TERHADAP UJI KEKERASAN , UJI,” no. 1983.
- [20] K. Asyari Daryus, Agung, “Diktat Kuliah Ilmu Material Teknik,” *Mater. Tek.*, pp. 1–108, 2013.
- [21] K. A. Y. Prof *et al.*, *Fen ve Sağlık Bilimlerinde Ar-Ge ve İnovasyon Çalışmaları*.
- [22] “AeroMarine-Durometer-Shore-Hardness-Scale.pdf.”
- [23] J. W. MANIK, “Pengaruh Diameter Dan Temperatur Nozzle Pencetakan 3D Printing Terhadap Sifat Kekerasan Dan Kekasaran Produk Berbahan Baku Acrylonitrile Butadiene Styrene (Abs),” pp. 1–35, 2022.
- [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] R. Gunawan, “Pengaruh Densitas Isi terhadap Ketelitian Dimensi pada Produk Mesin 3D Printing,” *Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 15–19, 2020, doi: 10.25105/ms.v11i1.7438.
- [26] E. D. O. SYAHRIZAL, “Studi Kualitas Skafold Berbahan Pla Hasil Produksi Mesin Cetak 3D Tipe Fdm Dengan Metode Taguchi,” *Repository.Unsri.Ac.Id*, 2020, [Online]. Available: https://repository.unsri.ac.id/41327/10/RAMA_21201_03051381621092_0028027004_0001025806_01_front_ref.pdf
- [27] S. A. Agrawal, “Simplified Measurement of Density of Irregular Shaped Composites Material using Archimedes Principle by Mixing Two Fluids Having Different Densities,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 3, pp. 1005–1009, 2021, [Online]. Available: www.irjet.net

- [28] Sudarta, “pengujian tarik pada logam,” vol. 16, no. 1, pp. 1–23, 2022.
- [29] I. Risnasari *et al.*, *Alat Universal Testing Machine (UTM) dan Pengoperasiannya*, no. November 2022. 2021.
- [30] T. Pitanova and S. Alva, “Karakteristik Mekanikal Material Polimer PVC dengan Variasi Konsentrasi Vco (Virgin Coconut Oil),” *J. Pendidik. dan Konseling*, vol. 5, no. 1, pp. 4422–4435, 2023.
- [31] 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.
- [32] P. Dennis, “Standar Industri Jepang JIS K6251:2017 Karet vulkanisasi dan karet termoplastik - Cara menentukan sifat tar Karet, divulkanisir atau termoplastik- Penentuan sifat tegangan-regangan tarik,” vol. 13, no. 1, p. 2017, 2017, [Online]. Available: <http://geneontology.org/docs/download-ontology/>
- [33] D. J. Purnomo, S. Jokosisworo, and U. Budiarto, “Analisa Pengaruh Holding Time Tempering terhadap Kekerasan, Keuletan, Ketangguhan dan Struktur Mikro pada Baja ST 70,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 1, pp. 49–58, 2019.
- [34] H. Haslinda, “Analisis Kekuatan Tegangan Geser Pada Baja Karbon Sedang Dari Hasil Sambungan Las Titik,” *Insta Adpertisi J.*, vol. 3, no. 2, pp. 29–35, 2023, doi: 10.62728/jnsta.v3i2.464.
- [35] W. Hidayat, “Klasifikasi Dan Sifat Material Teknik Serta Pengujian Material,” *J. Mater. Tek.*, vol. 4, pp. 1–19, 2019.
- [36] I. Sutisna, “Statistika Penelitian: Teknik Analisis Data Penelitian Kuantitatif,” *Univ. Negeri Gorontalo*, vol. 1, no. 1, pp. 1–15, 2020, [Online]. Available: <https://repository.ung.ac.id/get/karyailmiah/4610/Teknik-Analisis-Data-Penelitian-Kuantitatif.pdf>
- [37] 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.

- [38] R. Adolph, *Handayani, I., Ikasari, I. H., & Kom, M. (2019). Statistika Dasar. Purwokerto: Cv. Pena Persada. 2016.*
- [39] Y. D. Putranto, “Hubungan motivasi berprestasi dan interaksi sosial dalam keluarga dengan prestasi belajar geografi siswa kelas X sekolah menengah atas negeri 1 Pati tahun pelajaran 2009 / 2010,” *Tesis*, 2010.
- [40] A. Qurnia Sari, Y. Sukestiyarno, and A. Agoestanto, “Batasan Prasyarat Uji Normalitas dan Uji Homogenitas pada Model Regresi Linear,” *Unnes J. Math.*, vol. 6, no. 2, pp. 168–177, 2017, [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujm>
- [41] 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.
- [42] D. K. Lee, J. In, and S. Lee, “Standard deviation and standard error of the mean,” *Korean J. Anesthesiol.*, vol. 68, no. 3, pp. 220–223, 2015, doi: 10.4097/kjae.2015.68.3.220.
- [43] E. Ihda, B. Sudarsono, and M. Awaluddin, “ANALISIS HUBUNGAN VARIASI LAND SURFACE TEMPERATURE DENGAN KELAS TUTUPAN LAHAN MENGGUNAKAN DATA CITRA SATELIT LANDSAT (Studi Kasus : Kabupaten Pati),” *J. Geod. Undip*, vol. 4, no. April, pp. 86–94, 2015.
- [44] Tae Kyun Kim, “Understanding one-way anova using conceptual figures.,” *Korean J. Anesthesiol.*, vol. 70, no. 1, pp. 22–26, 2017, [Online]. Available: <https://doi.org/10.4097/kjae.2017.70.1.22>
- [45] R. G. Shaw and T. Mitchell-Olds, “ANOVA for unbalanced data: an overview,” *Ecology*, vol. 74, no. 6, pp. 1638–1645, 1993, doi: 10.2307/1939922.
- [46] R. Syahputra, M. Sayuti, F. Fatimah, and S. Mutia, “The Effect of Natural Fiber Percentage on the Tensile Strength of Paper Using ANOVA,” *Int. J.*

- Eng. Sci. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 72–76, 2023, doi: 10.52088/ijesty.v3i2.448.
- [47] A. N. Mustapha, Y. Zhang, Z. Zhang, Y. Ding, Q. Yuan, and Y. Li, “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.
- [48] N. Fitria, “Analisis Metode Desain Eksperimen Taguchi dalam Optimasi Karakteristik Mutu,” *Cent. Libr. Maulana Malik Ibrahim Malang*, vol. 19, no. 1, pp. 1–111, 2019.
- [49] 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,” *Sprocket J. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 87–99, 2021, doi: 10.36655/sproket.v2i2.530.
- [50] 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.
- [51] J. Xiao and Y. Gao, “The manufacture of 3D printing of medical grade TPU,” *Prog. Addit. Manuf.*, vol. 2, no. 3, pp. 117–123, 2017, doi: 10.1007/s40964-017-0023-1.
- [52] H. Syahrizal and M. S. Jailani, “Jenis-Jenis Penelitian Dalam Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif,” *J. QOSIM J. Pendidikan, Sos. Hum.*, vol. 1, no. 1, pp. 13–23, 2023, doi: 10.61104/jq.v1i1.49.
- [53] 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.
- [54] P. A. Palacios, A. Velazquez, R. Zelaya, and A. E. Patterson, “Shore hardness of as-printed and dehydrated thermoplastic materials made using

fused filament fabrication (FFF),” *Mater. Today Commun.*, vol. 35, no. April, 2023, doi: 10.1016/j.mtcomm.2023.105971.

- [55] 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.

