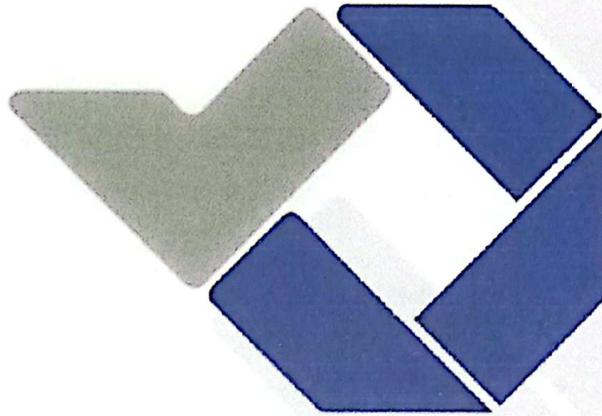


**ANALISIS PENGARUH PARAMETER PROSES 3D
PRINTING FDM TERHADAP AKURASI DIMENSI
PADA *FILAMENT* PLA+ MENGGUNAKAN
METODE TAGUCHI**

PROYEK AKHIR

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Disusun Oleh :

Andi Meri

NIM : 1072203

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL PROYEK AKHIR

**ANALISIS PENGARUH PARAMETER PROSES 3D PRINTING
FDM TERHADAP AKURASI DIMENSI PADA FILAMENT
PLA+ MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI**

Oleh :

Andi Meri

NIM : 1072203

Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan
Program Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

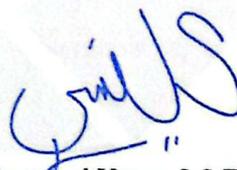
Menyetujui,

Pembimbing 1



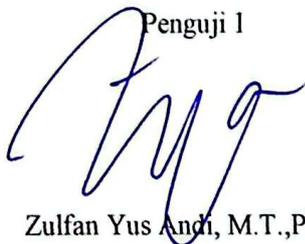
Pristiansyah, S.S.T., M.Eng

Pembimbing 2



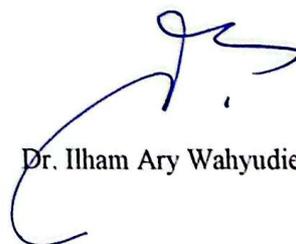
Muhammad Yunus, S.S.T., M.T.

Penguji 1



Zulfan Yus Andi, M.T., Ph.D.

Penguji 2



Dr. Ilham Ary Wahyudie, S.S.T., M.T.

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Andi Meri NIM: 1072203

Dengan Judul : ANALISIS PENGARUH PARAMETER PROSES 3D
PRINTING FDM TERHADAP AKURASI DIMENSI PADA *FILAMENT* PLA+
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja kami sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, kami bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 20 Juni 2025

Nama Mahasiswa

Tanda tangan

Andi Meri



ABSTRAK

Dalam 3D printing berbasis Fused Deposition Modeling (FDM), seringkali menyebabkan disfungsi produk dan kesulitan perakitan. Penelitian ini mengatasi masalah tersebut dengan menganalisis pengaruh parameter proses FDM (Layer Height, Infill Density, Print Speed, dan Nozzle Temperature) terhadap kualitas cetakan PLA+, dengan fokus utama pada peningkatan akurasi dimensi. Meskipun penelitian ini juga meninjau pengaruh parameter terhadap kekuatan tarik dan kekasaran permukaan sebagai bagian dari proses optimasi, tujuan inti adalah menentukan konfigurasi parameter optimum yang dapat menjamin keakuratan dimensi produk. Menggunakan Metode Taguchi, parameter optimum berhasil diidentifikasi. Uji konfirmasi terhadap parameter optimum yang diperoleh (Layer Height 0,1 mm, Infill Density 100%, Print Speed 40 mm/s, Nozzle Temperature 210°C) secara eksplisit menunjukkan peningkatan substansial pada akurasi dimensi. Hasil pengukuran rata-rata dimensi pada sumbu X adalah 11,73 mm, sumbu Y sebesar 7,08 mm, dan sumbu Z sebesar 21,08 mm, yang membuktikan bahwa parameter optimum tersebut mampu menghasilkan dimensi cetakan yang stabil dan akurat. Dengan demikian, penelitian ini menyimpulkan bahwa optimasi parameter proses menggunakan Metode Taguchi adalah kunci untuk mencapai presisi dimensi yang lebih tinggi pada hasil cetakan 3D FDM.

Kata Kunci: 3D Printing, FDM, Filament PLA, Akurasi Dimensi, Taguchi L27

ABSTRACT

In Fused Deposition Modeling (FDM) 3D printing, often leading to product dysfunction and assembly difficulties. This research addresses this issue by analyzing the influence of FDM process parameters (Layer Height, Infill Density, Print Speed, and Nozzle Temperature) on PLA+ print quality, with a primary focus on enhancing dimensional accuracy. While the study also investigated the parameters' effects on tensile strength and surface roughness as part of the optimization process, the core aim was to determine the optimal parameter configuration capable of ensuring precise product dimensions. Utilizing the Taguchi Method, optimal parameters were successfully identified. A confirmation test, conducted with the obtained optimal parameters (Layer Height 0.1 mm, Infill Density 100%, Print Speed 40 mm/s, Nozzle Temperature 210°C), explicitly demonstrated a substantial improvement in dimensional accuracy. The average measured dimensions were 11.73 mm on the X-axis, 7.08 mm on the Y-axis, and 21.08 mm on the Z-axis, proving that these optimal parameters yield stable and accurate print dimensions. Therefore, this study concludes that the optimization of process parameters using the Taguchi Method is key to achieving higher dimensional precision in FDM 3D printed products.

Keywords: 3D Printing, FDM, PLA Filament, Dimensional Accuracy, Taguchi L27.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Selamat Pagi ,Salam Sejahtera untuk kita semua

Segala puji bagi Allah SWT , puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran-Nya, karena berkat rahmat dan KasihNya penulis dapat menyelesaikan Laporan Proyek Akhir ini untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada Program Studi D-IV Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Penulis menyadari bahwa Laporan Proyek Akhir ini masih terdapat banyak kesalahan dan jauh dari kata sempurna, baik dari segi penyusunan maupun penulisannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan masukan untuk pembaca yang bersifat membangun ke arah perbaikan dan penyempurnaan laporan ini.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak yang telah membantu pada saat berlangsungnya Proses Pengerjaan Proyek Akhir dan dalam proses penyusunan laporan ini, di antaranya:

1. Allah SWT atas segala nikmat dan karunia yang telah diberikan kepada penulis.
2. Kepada Kedua Orang Tua dan Keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan dan bantuan positif baik secara moral maupun materi.
3. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D., selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
4. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng., selaku pembimbing I yang telah meluangkan waktu dan pikiran dalam proses pengerjaan proyek akhir dan penyusunan laporan proyek akhir ini
5. Bapak Muhammad Yunus, S.S.T., M.T. selaku pembimbing II yang telah memberikan saran dan masukan dalam proses pengerjaan proyek akhir dan penyusunan laporan proyek akhir ini.
6. Seluruh Staf pengajar di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

7. Rekan-rekan mahasiswa yang telah membantu dan mendukung penulis dalam proses pengerjaan proyek akhir dan penyusunan laporan proyek akhir ini.

Penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan yang telah dilakukan oleh semua pihak yang telah membantu penulis, semoga laporan yang penulis susun ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Sungailiat, 03 Juli 2025

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| LEMBAR PENGESAHAN..... | ii |
| PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT..... | iii |
| ABSTRAK..... | iii |
| <i>ABSTRACT</i> | v |
| KATA PENGANTAR..... | vi |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR TABEL..... | x |
| DAFTAR GAMBAR..... | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xiii |
| BAB I..... | 1 |
| PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2. Rumusan masalah..... | 2 |
| 1.3. Tujuan..... | 2 |
| BAB II..... | 3 |
| LANDASAN TEORI..... | 3 |
| 2.1. <i>3D Printing</i> | 3 |
| 2.2. Prinsip Dasar/Prinsip Kerja Mesin <i>3D Printing</i> | 3 |
| 2.3. Tipe Mesin <i>3D Printing</i> FDM..... | 3 |
| 2.4. Keunggulan Mesin <i>3D Printing</i> | 6 |
| 2.5. <i>Filament PLA+ (Polylactic Acid)</i> | 6 |
| 2.6. Parameter Proses..... | 7 |
| 2.7. Metode Taguchi..... | 8 |
| 2.8. Pengukuran keakurasian Dimensi..... | 7 |
| 2.9. Desain Eksperimen Taguchi..... | 9 |
| 2.10. Tahap Analisis..... | 10 |
| 2.11. <i>Minitab</i> | 11 |
| 2.12. Penelitian Sebelumnya..... | 13 |
| BAB III..... | 15 |
| | viii |

| | |
|--|----|
| METODE PELAKSANAAN | 15 |
| 3.1 <i>Flowchart</i> (Diagram Alir) | 15 |
| 3.1.1 Studi Literatur | 16 |
| 3.1.2 Persiapan Alat dan Bahan | 16 |
| 3.1.3 Membuat Spesimen | 16 |
| 3.1.4 Menentukan Parameter dan Setting Mesin 3D Printing | 19 |
| 3.1.4.1 Desain Of Experimen (DoE) | 19 |
| 3.1.4.2 Penentuan Faktor dan Level Experimen | 19 |
| 3.1.4.3 Pemilihan Matriks Orthogonal | 20 |
| 3.1.4.1 Pengolahan Data | 22 |
| BAB IV | 39 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN | 39 |
| 4.1. Pelaksanaan Eksperimen | 39 |
| 4.2. Parameter Experimen | 40 |
| 4.3. Bahan dan Peralatan | 40 |
| 4.4. Prosedur Pelaksanaan | 40 |
| 4.5. Pengambilan Data dan Hasil Eksperimen | 43 |
| 4.6. Pengukuran Dimensi Spesimen | 44 |
| 4.7. Tahap Analisis | 45 |
| 4.8. Perhitungan Rasio S/N | 58 |
| BAB V | 60 |
| PENUTUP | 60 |
| 5.1 Kesimpulan | 61 |
| 5.2 Saran | 62 |
| DAFTAR PUSTAKA | 63 |
| LAMPIRAN | 65 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|---|---------|
| 2. 1 Spesifikasi Filament PLA+ (Polilactic Acid)..... | 7 |
| 3. 1 Paramater Proses Penelitian | 20 |
| 3. 2 Derajat Kebebasan | 20 |
| 3. 3 Desain Faktorial Penelitian L_{27} | 21 |
| 4. 1 Data Hasil Pengukuran Spesimen | 46 |
| 4. 2 Tampilan Worksheet Desain L_{27} | 48 |
| 4. 3 Hasil Analisis Taguchi Keakurasian Dimensi Sumbu X | 50 |
| 4. 4 <i>Response Table for Means Sumbu X</i> | 51 |
| 4. 5 Hasil Analisis Taguchi Keakurasian Dimensi Sumbu Y | 52 |
| 4. 6 <i>Response Table for Means Sumbu Y</i> | 55 |
| 4. 7 Hasil Analisis Taguchi Keakurasian Dimensi Sumbu Z | 56 |
| 4. 8 <i>Response Table for Means Sumbu Z</i> | 57 |
| 4. 9 Data Uji Konfirmasi..... | 59 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|---|---------|
| 2. 1 Bagian Mesin 3D tipe FDM | 5 |
| 2. 2 Filament PLA+ (Polilactic Acid) | 6 |
| 3. 1 <i>Flowchart</i> (Diagram Alir) | 15 |
| 3. 2 Mesin 3D <i>Printing Model Haltech H-01 Cartesian</i> | 15 |
| 3. 3 Jangka Sorong Digital | 16 |
| 3. 4 Desain Spesimen di <i>Software Auto Desk Solidwork</i> | 17 |
| 3. 5 View Spesimen di <i>Software Ultimaker Cura 4.11.0</i> | 18 |
| 3. 6 Tampilan pada <i>Software Minitab</i> | 19 |
| 3. 7 Laptop (sumber: fanaticosdelhardware.com) | 18 |
| 3. 8 Filament PLA+ (Polilactic Acid) | 20 |
| 4. 1 Desain Spesimen | 39 |
| 4. 2 Pemasangan <i>Filament</i> | 41 |
| 4. 3 Menyalakan mesin | 41 |
| 4. 4 Mengkalibrasi <i>bed</i> mesin..... | 42 |
| 4. 5 Memasukan <i>Sandisk</i> ke mesin | 42 |
| 4. 6 Mengatur parameter proses pada mesin 3D <i>Printing</i> | 42 |
| 4. 7 Proses pencetakan spesimen | 43 |
| 4. 8 Seluruh spesimen | 43 |
| 4. 9 Titik Uji Spesimen (a) 2 Dimensi, (b) 3 Dimensi Perspektif Kavalir | 44 |

| | |
|--|----|
| 4. 10 Proses pengukuran Spesimen Sumbu X..... | 44 |
| 4. 11 Proses pengukuran Spesimen Sumbu Y..... | 45 |
| 4. 12 Proses pengukuran Spesimen Sumbu Z..... | 45 |
| 4. 13 Tampilan <i>Worksheet</i> pada <i>Minitab</i> | 47 |
| 4. 14 Tampilan <i>Taguchi Design</i> | 48 |
| 4. 15 Tampilan <i>Design</i> | 48 |
| 4. 16 Tampilan <i>Factors</i> | 49 |
| 4. 17 Tampilan <i>Analyze Taguchi Design</i> | 50 |
| 4. 18 Tampilan Menu <i>Graphs</i> | 50 |
| 4. 19 Tampilan Menu <i>Options</i> | 51 |
| 4. 20 Tampilan Menu <i>Storage</i> | 51 |
| 4. 21 Grafik <i>Main Effects Plot for Means Sumbu X</i> | 52 |
| 4. 22 Grafik <i>Main Effects Plot for SN Ratio</i> | 53 |
| 4. 23 Grafik <i>Main Effects Plot for SN Ratio Dimensi Sumbu X</i> | 54 |
| 4. 24 Grafik <i>Main Effects Plot for Means Sumbu Y</i> | 55 |
| 4. 25 Grafik <i>Main Effects Plot for Means Sumbu Z</i> | 56 |
| 4. 26 Grafik <i>Main Effects Plot for SN Ratio Dimensi Sumbu Z</i> | 57 |

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran1: Daftar Riwayat Hidup

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teknologi Additive Manufacturing, terutama *3D Printing* dengan metode *Fused Deposition Modeling (FDM)*, telah menjadi bagian penting dalam industri manufaktur saat ini . Keberhasilan didorong oleh kemampuannya untuk membuat prototipe dengan cepat dan menghasilkan komponen fungsional dengan biaya yang efisien. Namun, meskipun teknologi ini berkembang pesat, masalah akurasi dimensi pada produk dengan FDM masih menjadi tantangan utama.

Ketidak akuratan dimensi dapat menyebabkan produk tidak berfungsi dengan baik, menyulitkan proses perakitan, dan akhirnya menurunkan kualitas produk secara keseluruhan. Beberapa faktor dalam proses pencetakan, seperti suhu nozzle, kepadatan infill, kecepatan pencetakan, dan tinggi lapisan, terbukti sangat memengaruhi akurasi dimensi.

Untuk mengatasi masalah, terutama pada nozzle, penting untuk mengatur suhu nozzle dengan benar dan memastikan nozzle agar tetap bersih dan tidak tersumbat. Menguji suhu nozzle dengan benar yang tepat dapat mencegah masalah seperti *stringing* dan *underextrusion*, sementara membersihkan nozzle secara rutin dapat menghindari penumpukkan *filament* yang mengganggu aliran material. Selain itu, memilih nozzle dengan diameter yang sesuai juga dapat mempengaruhi kualitas cetakan. Namun, masih belum ada panduan lengkap atau metode sistematis untuk menentukan pengaturan parameter proses yang ideal agar akurasi dimensi produk maksimal saat menggunakan filament PLA+ dengan mesin 3D printing FDM. Oleh karena itu, penelitian ini sangat penting untuk mengisi kekurangan pengetahuan tersebut, dengan fokus pada identifikasi dan optimasi parameter proses yang penting melalui penerapan metode Taguchi yang bertujuan untuk meningkatkan akurasi dimensi pada produk hasil 3D printing FDM. (Setiawan, 2020)

(100°C), Infill Density (25%), Infill Overlap (10%), Layer Thickness (30mm), Printing Speed (40mm/s), Infill Speed (40mm/s), Flowrate (90%). (Pristiansyah M. L., 2022).

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka pada penelitian ini akan berfokus pada akurasi dimensi produk 3D printing menggunakan filamen PLA+.

1.2. Rumusan masalah

Rumusan masalah yang ada pada penelitian ini:

1. Bagaimana parameter proses *3D printing* FDM (suhu *nozzle*, kepadatan *infill*, kecepatan pencetakan, dan tinggi lapisan) mempengaruhi akurasi dimensi produk yang dicetak?
2. Apakah penerapan metode Taguchi efektif dalam menentukan pengaturan parameter ideal untuk mencapai akurasi dimensi produk maksimal saat menggunakan filamen PLA+ pada mesin *3D printing* FDM?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh spesifik dari setiap parameter proses *3D printing* FDM yaitu suhu *nozzle*, kepadatan *infill*, kecepatan pencetakan, dan tinggi lapisan terhadap akurasi dimensi produk.
2. Mengembangkan panduan sistematis atau metode yang jelas untuk menentukan pengaturan parameter proses yang ideal guna mencapai akurasi dimensi produk maksimal saat menggunakan filamen PLA+ pada mesin *3D printing* FDM.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. 3D Printing

3D printing adalah proses pembuatan objek tiga dimensi dengan cara menambahkan material secara bertahap, biasanya menggunakan teknologi seperti *Fused Deposition Modeling* (FDM) dan pemahaman tentang parameter yang mempengaruhi proses ini sangat penting untuk meningkatkan kualitas produk akhir yang menciptakan objek fisik tiga dimensi yang dilakukan secara bertahap (lapisan per lapisan) dengan pemodelan desain menggunakan komputer (CAD).

Selain itu, *3D printing* juga dapat diartikan sebagai proses pembuatan benda tiga dimensi yang didesain atau dirancang menggunakan komputer (CAD) dan cara pengaplikasiannya menggunakan mesin *3D printing* yang proses pembentukannya secara bertahap (*layer by layer*). (Samosir, 2021).

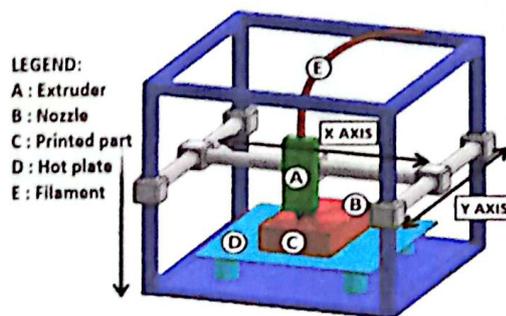
2.2. Prinsip Dasar/Prinsip Kerja Mesin 3D Printing

Prinsip dasar mesin *3D printing* dengan cara melibatkan partikel padat, dan akan diproses dengan penyinaran menggunakan laser untuk mencairkan plastik hingga mencair. Cairan yang dihasilkan, akan mendapatkan penyinaran laser berupa ultraviolet (UV), dan pada saat itu akan terjadinya perubahan dari cair menjadi padat. (Azizul Nasa Al Hakim, 2023) Prinsip kerjanya, menyiapkan model 3D dan diubah menjadi lapisan demi lapisan (*layer by layer*) menggunakan *software* komputer (CAD), kemudian model 3D tersebut diubah ke file *g-code* dan di input ke dalam mesin, yang dimana mesin akan membaca dan mencetak lapisan demi lapisan secara berurutan hingga objek selesai. (Ferdiansyah, 2021)

2.3. Tipe Mesin 3D Printing FDM

Pencetakan 3D dengan metode *Fused Deposition Modeling* (FDM) memerlukan perhatian khusus terhadap parameter proses guna memperoleh kualitas permukaan cetak yang optimal. Meskipun berbagai penelitian

sebelumnya telah membahas aspek ini, masih sedikit yang secara khusus mengevaluasi pengaruh parameter proses terhadap kekasaran permukaan material TPU (*Thermoplastic Polyurethane*). Parameter input yang dikaji meliputi laju alir, ketebalan lapisan, suhu *nozzle*, kecepatan pencetakan, tingkat tumpang tindih, dan kecepatan kipas. Sementara itu, parameter *output* yang diamati adalah nilai kekasaran permukaan. Pendekatan optimasi menggunakan metode Taguchi dengan rancangan eksperimen *fraksional L₂₇*. Kombinasi parameter terbaik ditentukan berdasarkan *rasio signal-to-noise (S/N)* dan analisis varians (ANOVA). Selain itu, dilakukan analisis *regresi linier* serta uji statistik untuk mengidentifikasi hubungan antara variabel *input* dan *output*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan lapisan merupakan faktor dominan yang memengaruhi kekasaran permukaan, dengan kontribusi sebesar 65,11%. Analisis interaksi antar parameter juga mendukung temuan ini. Uji konfirmasi mengindikasikan adanya kesesuaian yang baik antara hasil eksperimen dan prediksi statistik. Penelitian ini menegaskan bahwa ketebalan lapisan adalah parameter kunci dalam upaya meningkatkan kualitas permukaan cetakan TPU menggunakan teknologi pencetakan 3D FDM, dan memberikan kontribusi baru dalam pengembangan proses manufaktur aditif di sektor industri. (Bari, 2021) di tunjukan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Bagian Mesin 3D Tipe FDM

(sumber: Printer 3D Berteknologi FDM – Bony3D – Design & 3D Printing)

2.4. Keunggulan Mesin 3D Printing

Keunggulan mesin 3D *printing* antara lain:

1. Dapat mencetak objek 3D dengan kompleksitas yang tinggi dan presisi yang tinggi
2. Produksi kompleks
3. Hasil lebih akurat

2.5. Filament PLA+(Polylactic Acid)

Filament ini merupakan variasi *Polylactic Acid* (PLA+) yang telah dimodifikasi dengan penambahan *glycol* untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu.

1. Kelebihan:
 - a. Mudah dicetak
 - b. Kekuatan dan ketahanan yang baik
 - c. Dapat dicetak dengan suhu yang rendah
 - d. Tidak Mengeluarkan bau
 - e. Tidak beracun
2. Kekurangan:
 - a. Tidak tahan panas
 - b. Tidak memiliki sifat yang fleksibel
 - c. Adhesi pada alas
 - d. Pengaruh Kelembapan

Bahan/filamen yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah filamen PLA+ yang akan dicetak, diperlihatkan pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Filamen PLA+ (Polylactic Acid)

Informasi spesifikasi pada filament PLA+ yang menjadi acuan pada penelitian ini di tunjukan pada tabel 2.1 (Shenzhen eSUN Industrial Co., 2020)

Tabel 2.1 *Spesifikasi Filamen PLA+*

| Spesifikasi Filamen | |
|------------------------------|-----------------|
| <i>Filament Diameter</i> | 1,75 mm |
| <i>Print Temperature</i> | 190°C - 220°C |
| <i>Print Bed Temperature</i> | 50°C - 80°C |
| <i>Roundness Tolerance</i> | 0,01 - 0,05 mm |
| <i>Net Weight</i> | 1 kg/roll |
| <i>Infill Speed</i> | 30 mm/s -60mm/s |

2.6. Parameter Proses

Berikut parameter yang digunakan untuk proses pencetakan 3D *printing*:

1. *Nozzle Temperature*

Merupakan suhu dimana filament dilelehkan saat di ekstrusi ketika suhu terlalu rendah akan menyebabkan filament tidak meleleh dengan baik, sedangkan ketika suhu terlalu tinggi akan menyebabkan degradasi material.

2. *Bed Temperature*

Adalah suhu alas cetak diatur untuk menentukan lapisan pertama menempel dengan baik.

3. *Print Speed*

Adalah kecepatan pergerakan *Nozzle* pada saat mengekstrusi filament bergerak pada sumbu X dan Y, dengan kecepatan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kualitas cetakan menurun dan ketika kecepatan yang rendah akan memperpanjang waktu cetak.

4. *Cooling Speed*

Merupakan kecepatan kipas pendingin yang digunakan selama pencetakan.

5. *Layer Height*

Adalah ketebalan setiap lapisan yang dicetak. Ketebalan yang tipis akan memberikan detail yang lebih baik tetapi memperlambat pencetakan, sedangkan menggunakan lapisan yang lebih tebal akan mempercepat waktu pencetakan tetapi mengurangi detail.

6. *Infill Density*

Kepadatan pengisian internal cetakan. Penggunaan persentase yang tinggi akan memperkuat cetakan tetapi memakan material dan waktu yang lebih banyak, tipe-tipe pola *infill*: *grid, lines, triangles, tri hexagon, cubic*

2.7. Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu metodologi dalam bidang teknik yang digunakan untuk meningkatkan proses, karakteristik benda kerja, serta meminimalkan penggunaan biaya dan sumber daya. Metode ini diterapkan dalam analisis kekuatan tarik filamen PLA *food grade* dengan tujuan menemukan nilai kekuatan tarik yang optimal menggunakan filamen PLA+. Dalam penelitian ini, rancangan eksperimen yang digunakan adalah desain Taguchi dengan tata letak *Orthogonal Array L27*. Tujuan utama dari metode Taguchi adalah untuk mencapai hasil yang optimal dan konsisten melalui pengendalian variasi dalam proses elemen bahan, peralatan manufaktur, tenaga kerja, dan kondisi operasional lebih tahan terhadap variabilitas. Metode Taguchi juga memiliki kekurangan, yaitu memiliki komposisi yang rumit, untuk menyelesaikannya dibutuhkan ketelitian dan sesuai dengan tujuan pada penelitian. Metode Taguchi memakai desain eksperimen orthogonal untuk mengurangi jumlah percobaan yang diperlukan tanpa mengorbankan kualitas data, desain ini memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi efek beberapa faktor secara simultan (Bari, 2021).

2.8. Pengukuran keakurasian Dimensi

Pengukuran akurasi dimensi merupakan proses untuk memastikan bahwa ukuran suatu objek atau produk sesuai dengan standar atau spesifikasi yang telah ditentukan. Tahapan dalam proses ini mencakup pemilihan alat ukur yang sesuai, pengukuran dimensi objek, penghitungan nilai rata-rata, perbandingan hasil dengan spesifikasi yang ditetapkan, serta analisis terhadap hasil pengukuran. Beberapa pendekatan yang umum digunakan antara lain pengukuran langsung, pengukuran tidak langsung, dan pengujian menggunakan alat ukur khusus. Akurasi dalam pengukuran dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kualitas alat ukur, kemampuan operator, kondisi lingkungan saat pengukuran, serta jenis material dari objek yang diuji. Dalam proses ini, dikenal sejumlah istilah penting seperti toleransi, presisi, akurasi, dan variasi, yang semuanya berkaitan dengan ketepatan dan konsistensi hasil pengukuran. Melalui pengujian akurasi dimensi, dapat dipastikan bahwa produk yang dihasilkan memenuhi dimensi yang telah ditetapkan dan mampu menjawab kebutuhan pengguna secara optimal. (Rosalina & dkk, 2024)

2.9. Desain Eksperimen Taguchi

Desain eksperimen Metode Taguchi merupakan pendekatan statistik yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas dalam proses maupun produk dengan mengurangi jumlah eksperimen yang diperlukan. Metode ini dikembangkan oleh Genichi Taguchi dan berbasis pada konsep "*robust design*" yang bertujuan untuk menciptakan proses dan produk yang tahan terhadap variasi dan gangguan. Dalam desain eksperimen Taguchi, beberapa langkah yang dilakukan adalah menentukan tujuan eksperimen, mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh, menentukan level faktor, dan mengembangkan matriks eksperimen. Matriks eksperimen Taguchi menggunakan tabel ortogonal yang memungkinkan untuk menguji beberapa faktor dengan jumlah eksperimen yang minimal (Sidi & dkk, 2013).

Metode taguchi memiliki beberapa kelebihan dari metode lainnya berikut kelebihannya :

1. Metode Taguchi bersifat fokus pada pengurangan variasi dalam prosesnya sehingga menghasilkan produk yang lebih konsisten dan berkualitas tinggi .
2. Metode ini membantu dalam mengidentifikasi dan mengoptimalkan parameter proses yang paling signifikan, yang dapat meningkatkan kinerja dan kualitas secara keseluruhan .
3. Mendapatkan hasil mengenai tingkatan dari faktor kontrol yang menghasilkan respons optimal.

Rancangan eksperimen ini merupakan proses dimana dua faktor dievaluasi secara serentak untuk memengaruhi rata-rata atau variasi karakteristik produk yang khusus. Hasil penelitian Untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh serta merancang langkah-langkah perbaikan lebih lanjut pada *Design Experiment Taguchi*, Metode ini memiliki 3 langkah utama, berikut langkah utamanya :

1. Tahapan perencanaan eksperimen

Tahapan perencanaan adalah fase yang sangat krusial. Ditahap ini, peneliti harus didorong untuk memahami hasil penelitian-penelitian terdahulu. Pada fase ini, akan dihasilkan analisis tentang informasi baik positif maupun negatif. Informasi negatif muncul jika hasil eksperimen tidak memberikan petunjuk mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi variabel respon. Berikut langkah-langkah yang ada pada tahap ini:

- a. Perumusan Masalah

Pada tahap ini mengharuskan penulis untuk melakukan perumusan masalah secara detail, dan teknis yang jelas sehingga memudahkan dan dapat diaplikasikan pada penelitian.

- b. Tujuan Eksperimen

Mampu mengatasi semua keputusan yang diambil.

- c. Penentuan Variabel Tak Bebas (Variabel Respon)

Memilih variabel dan didefinisikan terperinci.

d. Identifikasi Faktor (Variabel Bebas)

Pada saat melakukan penelitian, tidak semua faktor yang ditentukan mempengaruhi respon. Sehingga eksperimen dapat dilakukan dengan efektif dan efisien.

e. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Kedua faktor ini harus diverifikasi dengan jelas sebagai pemicunya, dampak kedua faktor tersebut.

f. Penentuan Jumlah Dan Nilai Level Faktor

Dalam memilih jumlah level akan mempengaruhi ketepatan hasil dan biaya pelaksanaan eksperimen. Jika menggunakan level yang lebih banyak, maka semakin banyak memperoleh hasil.

g. Perhitungan Derajat Kebebasan

Pada langkah perhitungan Derajat kebebasan Informasi yang diperoleh faktor dan level derajat kebebasan (ufl) dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut: $ufl = \text{Jumlah level faktor} - 1$. Sesuai dengan definsinya derajat kebebasan mendeskripsikan sebesar dan sebanyak apa ekperimen yang dilakukan.

h. Pemilihan Matrik *Orthogonal*

Matrik orthogonal dapat mengevaluasi beberapa faktor percobaan yang minimum. Matrik *ortogonal* L_9 adalah salah satu matrik *ortogonal* standar dengan 3 level 6 derajat kebebasan.

2. Tahapan pelaksanaan Eksperimen

Pada penelitian ini terdapat 2 hal dalam tahapan pelaksanaannya yaitu menentukan jumlah replikasi dan pengacakan

a. Jumlah Replikasi

Melakukan kembali eksperimen yang sama untuk memastikan hasil yang konsisten dan dapat dipercaya, jumlah replikasi pada penelitian ini berjumlah 3.

b. Pengacakan

Pengacakan ini dilakukan untuk memastikan bahwa sampel yang diambil mewakili populasi secara adil dan tidak bias serta menyebarkan pengaruh faktor pada semua sampel percobaan.

2.10. Tahap Analisis

Tahap analisis adalah tahap dimana akan dilakukan proses pengumpulan dan pengolahan data. Data yang sudah dikumpulkan akan dikelola, diperhitungkan, serta penyajian data sesuai dengan tampilan desain yang ditentukan. S/N Ratio (*Signal to Noise Ratio*) merupakan analisis untuk menyimpulkan pengaruh dan nilai optimal dari faktor-faktor yang telah ditentukan sebelumnya terhadap karakteristik hasil eksperimen dengan kualitas tinggi (Purnomo, 2022). Berikut karakteristik kualitas S/N Ratio:

1. *Smaller is Better*

Adalah tipe karakteristik yang dimana semakin kecil akan semakin baik kualitasnya dengan batas nilai nol dan non-negatif, jadi nilai yang mendekati nol adalah nilai terbaik.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \dots \dots \dots (2.1)$$

Yakni:

n = Jumlah Pengulangan yang dilakukan

y = data dari hasil uji coba

2. *Nominal is Best*

Adalah tipe karakteristik dengan nilai terbatas, nilai yang sama atau mendekati nilai yang ditentukan adalah nilai terbaik

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(y^i - y^2)}{n} \right] \dots \dots \dots (2.2)$$

Yakni:

n = Jumlah pengulangan yang dilakukan

y = data dari hasil uji coba

2. *Large is Better*

Adalah tipe karakteristik yang tidak terbatas dan non-negatif, pada tipe ini semakin besar nilai maka semakin baik

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(1/y^i)}{n} \right] \dots \dots \dots (2.3)$$

Yakni:

n= Jumlah pengulangan yang dilakukan

y= data dari hasil uji coba

2.11. *Minitab*

Minitab merupakan perangkat lunak yang dibuat khusus untuk mengolah data statistik. Aplikasi ini dikenal andal dalam melakukan analisis statistik, baik untuk data univariat maupun multivariat, serta dapat digunakan pada data primer maupun sekunder. Minitab memiliki kemampuan integrasi dengan Microsoft Excel, sehingga memungkinkan pengguna untuk menjalankan analisis statistik yang kompleks dengan lebih mudah. Selain itu, Minitab juga menyediakan beragam model statistik yang berguna dalam perancangan eksperimen, seperti metode Design of Experiments (DoE) dan Taguchi, serta mendukung analisis regresi nonlinier.. (Sihombing, 2022)

2.12. *Penelitian Sebelumnya*

Berdasarkan penelitian terdahulu, metode yang diterapkan untuk meningkatkan parameter proses adalah metode Taguchi dengan rancangan eksperimen L27 OA. Parameter yang dianalisis meliputi suhu nozzle, ketebalan lapisan, kecepatan cetak, tingkat infill, dan suhu pada platform pemanas. Hasil

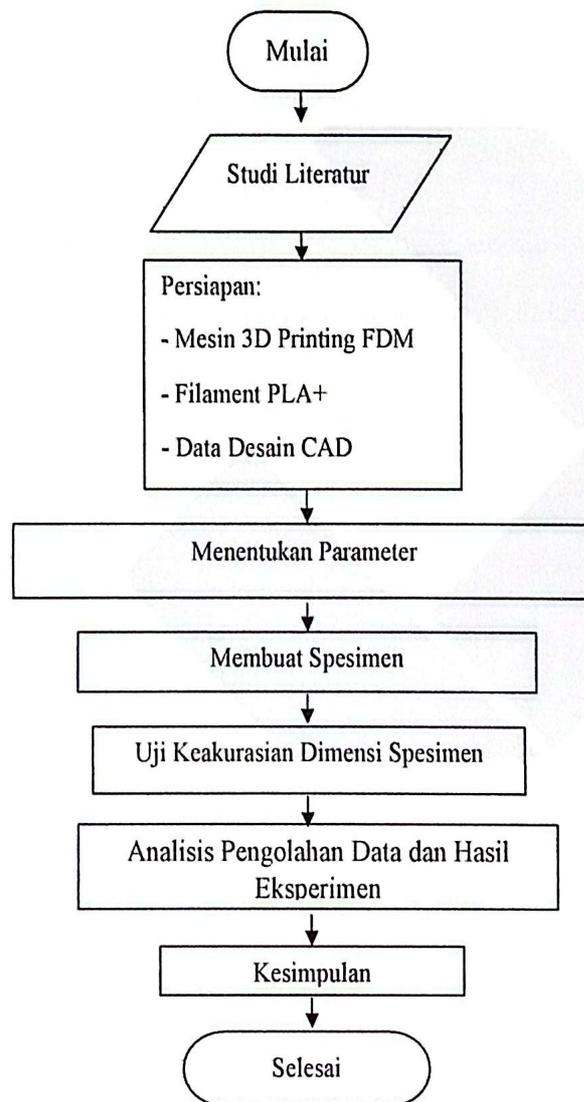
penelitian menunjukkan bahwa kombinasi parameter optimal agar mencapai keakurasian dimensi diameter luar spesimen adalah suhu nozzle 190°C, ketebalan lapisan 0,15 mm, kecepatan cetak 45 mm/s, tingkat infill 12%, dan suhu platform 45°C, dengan nilai pengukuran sebesar 29,98 mm. Untuk tinggi spesimen, parameter optimal adalah suhu nozzle 185°C, ketebalan lapisan 0,20 mm, kecepatan cetak 40 mm/s, infill 8%, dan suhu platform 40°C, menghasilkan nilai 39,85 mm. Sedangkan untuk kombinasi optimal pada diameter luar dan tinggi spesimen adalah suhu nozzle 185°C, ketebalan lapisan 0,20 mm, kecepatan cetak 40 mm/s, infill 12%, dan suhu platform 40°C, dengan nilai pengukuran sebesar 34,87 mm. (Christilian, 2021).

Pada penelitian terdahulu Parameter yang digunakan yaitu Nozzel Temperature, Bed Temperature, Flowrate, Prin Speed, Layer Thiknes, Infill Overlap, Infill Density, dan Infill Speed. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa parameter yang paling berpengaruh untuk tinggi spesimen yaitu penelitian no. 4 dan 11 dengan nilai 19,99 sementara nilai terendah berada pada nomor 26 dengan nilai 19,73 mm. Dan parameter proses yang paling berpengaruh berturut-turut adalah Nozzel Temperature (235°C), Bed Temperature (100°C), Infill Density (25%), Infill Overlap (10%), Layer Thickness (30mm), Printing Speed (40mm/s), Infill Speed (40mm/s), Flowrate (90%). (Pristiansyah M. L., 2022).

BAB III METODE PELAKSANAAN

3.1 *Flowchart* (Diagram Alir)

Langkah-langkah pada penelitian ini terdapat pada *flowchart* (Diagram Alir) yang ada pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 *Flowchart*

3.1.1. Studi Literatur

Studi Literatur merupakan proses mencari acuan terkait masalah yang sedang diteliti. Referensi ini meliputi berbagai sumber, seperti jurnal, buku, laporan, artikel, dan situs web. Studi literatur ini sangat mendukung dalam pelaksanaan eksperimen atau penelitian.

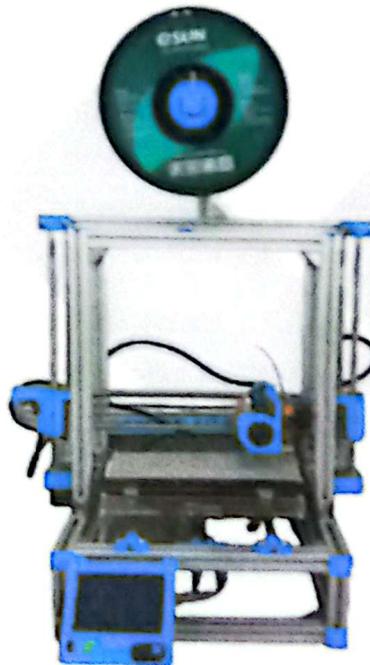
3.1.2. Persiapan Alat dan Bahan

1. Alat

Berikut peralatan-peralatan pada penelitian ini

a. Mesin *3D Printing*

Menggunakan mesin *Model Haltech H-01 cartesian*, memiliki *printing* are X Y Z, 210 mm x 210 mm x 300mm yang ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Mesin *3D Printing* Model Haltech H-01 Cartesian

b. Alat Uji Keakurasian Dimensi

Alat yang digunakan untuk pengujian keakurasian dimensi adalah jangka sorong dengan ketelitian 0,01 mm, dan mesin bubut untuk membantu dalam pengujian sebagai dukungan pada spesimen, yang ditampilkan pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Jangka Sorong Digital

3.1.3. Membuat spesimen

Spesimen dalam penelitian ini merujuk pada model atau desain objek yang akan digunakan sebagai bahan uji yang dicetak 3D. Desain tersebut dibuat menggunakan perangkat lunak CAD seperti *FreeCAD*, *Fusion 360*, atau bahkan platform berbasis web seperti *Tinkercad*. Pada tahap desain, objek ini diekspor dalam format standar (misalnya *STL* atau *OBJ*) dan kemudian diolah menggunakan slicer seperti *Cura* atau *PrusaSlicer* untuk menghasilkan instruksi cetak (file *G-code*). Setelah itu, model tersebut dicetak menggunakan mesin 3D dan disiapkan sebagai spesimen uji yang siap diukur, seperti melalui metode *Taguchi L27*, untuk mengevaluasi keakuratan dimensi dan kekuatan material

a. *Software Autodesk Solidwork*

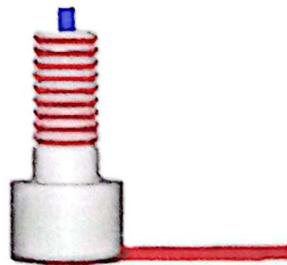
Software ini digunakan untuk mendesain spesimen yang akan di jadikan untuk bahan uji kebulatan Pada *Software* ini file akan *export* dengan format STL. Desain spesimen disoftware ini ditampilkan pada Gambar 3.4



Gambar 3.4. *Desain Spesimen di Software Auto Desk Solidwork*
(Sumber : dokumentasi Software Auto Desk Solidwork)

c. *Software Ultimaker Cura 4.11.0*

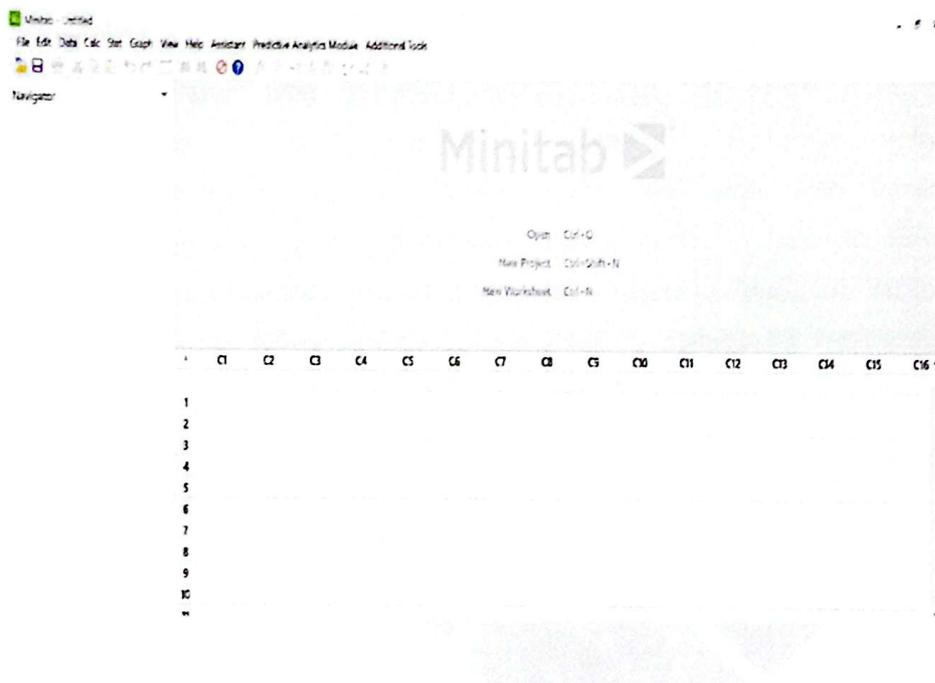
Software ini akan membaca file STL dan dapat mengatur parameter yang akan digunakan saat pencetakan pada *software* file akan di simpan dalam bentuk *g-code*, tampilan spesimen pada software ini terdapat pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 *View Spesimen di Software Ultimaker Cura 4.11.0*

d. Software Minitab 22

Software ini digunakan untuk membantu menganalisis statis dan pengolahan data yang akan dilakukan dalam menentukan variasi parameter atau faktor-faktor yang sangat berpengaruh terhadap variabel pada metode *Design of Experiment (DoE)*. Tampilan *software Minitab* ditunjukkan pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Tampilan Pada Software minitab

(Sumber : Dokumentasi software Minitab)

e. Laptop

Laptop digunakan untuk menjalankan *Software Autodesk Solidwork*, *Software Ultimaker Cura 4.11.0* dan *Minitab*, yang ditunjukkan pada Gambar 3.7



Gambar 3.7 Laptop

(Sumber : Fanaticosdelhardware.co.)

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *filament Polylactic Acid Plus (PLA+)*. Filament ini merupakan versi pengembangan dari PLA standar yang telah dimodifikasi untuk meningkatkan karakteristik tertentu, seperti ketahanan terhadap suhu tinggi dan kekuatan mekanis. PLA+ dikenal memiliki keunggulan dalam kemudahan proses pencetakan, menghasilkan permukaan cetak yang halus, serta bersifat ramah lingkungan. Karena itu, PLA+ sering digunakan dalam berbagai aplikasi pencetakan 3D. Ilustrasi filament ini ditampilkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Filament PLA+ (Polylactic Acid)

(Sumber : eSUN, 2024, www.esun3d.com)

3.1.4. Menentukan Parameter dan Setting Mesin 3D Printing

Pada penelitian ini, proses penentuan parameter dan pengaturan mesin 3D *printing* merupakan tahapan krusial yang dilakukan dengan pendekatan sistematis melalui *Design of Experiment (DoE)* atau Desain Eksperimen. Berikut langkah langkah untuk menentukan parameter antara lain:

3.1.4.1. *Design of Experiment (DoE)*

Dalam penelitian ini, *Design of Experiment (DoE)* dilakukan secara strategis untuk menentukan faktor, variasi, dan level parameter yang akan digunakan dalam proses *licer* Ultimaker Cura. Tujuannya adalah untuk mencapai hasil percobaan minimum namun tetap memperoleh informasi maksimal terkait faktor yang memengaruhi optimasi produk printer 3D. Pendekatan ini mengatasi risiko pengujian "satu perubahan pada satu waktu" (*one change at a time*), yang seringkali terbatas dalam menemukan faktor masukan signifikan karena keterbatasan dalam mengubah faktor lain demi menjaga stabilitas variabel. (Christilian, 2021)

3.1.4.2. *Penentuan Faktor dan Level Experimen*

Pemilihan empat parameter proses dalam studi ini adalah keputusan strategis yang didasarkan pada efisiensi Metode Taguchi. Sebagai pendekatan Desain Eksperimen (DoE), Metode Taguchi, khususnya dengan tata letak *orthogonal array L27*, memungkinkan peneliti untuk menganalisis dampak berbagai faktor secara bersamaan sambil mengurangi jumlah percobaan yang diperlukan. Ini menjaga kualitas data optimal dan efisiensi riset. Empat parameter kunci yang dipilih adalah *Infill Density (%)*, *Print Speed (mm/s)*, *Layer Height (mm)*, *Nozzle Temperature* diidentifikasi karena riset sebelumnya telah membuktikan pengaruh signifikan mereka terhadap akurasi dimensi produk yang dihasilkan melalui teknologi *Fused Deposition Modeling (FDM)* dengan filamen PLA+. Eksperimen ini menggunakan *design taguchi L27* dengan 4 faktor dan 3 level. (Pristiansyah M. L., 2022).di tunjukan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 *Paramater Proses Penelitian*

| Faktor | Parameter Proses | Level | | |
|--------|---------------------------|-------|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1 | <i>Infill Density</i> (%) | 90 | 95 | 100 |
| 2 | <i>Print Speed</i> (mm/s) | 20 | 30 | 40 |
| 3 | <i>Layer Height</i> (mm) | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| 4 | <i>Nozzle Temperature</i> | 190 | 200 | 210 |

3.1.4.3. *Pemilihan Matriks Orthogonal*

Dalam penelitian ini, penerapan matriks ortogonal mewajibkan derajat kebebasan yang digunakan sama atau lebih tinggi dari semua parameter proses serta tingkat faktor yang telah ditetapkan, oleh karena itu pemilihan *Orthogonal Array* (OA) Taguchi L27 merupakan strategi yang efisien untuk mengoptimalkan proses 3D *printing*. Rancangan ini dipilih karena mampu menganalisis pengaruh empat parameter (masing-masing dengan tiga level hanya dengan 27 percobaan, pendekatan ini juga efektif dalam menemukan interaksi antar faktor signifikan, sekaligus mendukung pencapaian hasil yang lebih stabil (*robust*) dan derajat kebebasan yang digunakan terdapat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 *Derajat Kebebasan*

| Faktor | Jumlah Level (k) | $Ufl = (k - 1)$ |
|------------------------|------------------|-----------------|
| Infill Density | 3 | 2 |
| Print Speed | 3 | 2 |
| Layer Height | 3 | 2 |
| Nozzle Temperature | 3 | 2 |
| Total Derajat Kebebasa | | 8 |

Tabel 3.2 Menampilkan bahwa derajat kebebasan minimal termasuk dalam *matriks orthogonal* yang akan digunakan sebanyak 6. Berlaku untuk desain eksperimen dengan *matriks orthogonal* L_{27} (3^4) dengan memiliki 4 kolom dan 27 baris. Tampilan desain Faktorial ditampilkan pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 *Desain Faktorial Penelitian L_{27}*

| Exp. | Infill Density (%) | Print Speed(mm/s) | Layer Height(mm) | Nozzle Temperatur |
|------|--------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| 1 | 90 | 20 | 0,1 | 190 |
| 2 | 90 | 20 | 0,1 | 190 |
| 3 | 90 | 20 | 0,1 | 190 |
| 4 | 90 | 20 | 0,2 | 200 |
| 5 | 90 | 30 | 0,2 | 200 |
| 6 | 90 | 30 | 0,2 | 200 |
| 7 | 90 | 40 | 0,3 | 210 |
| 8 | 90 | 40 | 0,3 | 210 |
| 9 | 90 | 40 | 0,3 | 210 |
| 10 | 95 | 20 | 0,2 | 210 |
| 11 | 95 | 20 | 0,2 | 210 |
| 12 | 95 | 20 | 0,2 | 210 |
| 13 | 95 | 30 | 0,3 | 190 |
| 14 | 95 | 30 | 0,3 | 190 |
| 15 | 95 | 30 | 0,3 | 190 |
| 16 | 95 | 40 | 0,1 | 200 |

| | | | | |
|----|-----|----|-----|-----|
| 17 | 95 | 40 | 0,1 | 200 |
| 18 | 100 | 40 | 0,1 | 200 |
| 19 | 100 | 20 | 0,3 | 200 |
| 20 | 100 | 20 | 0,3 | 200 |
| 21 | 100 | 20 | 0,3 | 200 |
| 22 | 100 | 30 | 0,1 | 210 |
| 23 | 100 | 30 | 0,1 | 210 |
| 24 | 100 | 30 | 0,1 | 210 |
| 25 | 100 | 40 | 0,2 | 190 |
| 26 | 100 | 40 | 0,2 | 190 |
| 27 | 100 | 40 | 0,2 | 190 |

Berdasarkan Tabel 3.3, Eksperimen dilaksanakan secara acak dengan parameter yang telah dikombinasikan berdasarkan desain eksperimental yang sesuai dengan *matriks ortogonal*.

3.1.4.4. Pengolahan Data

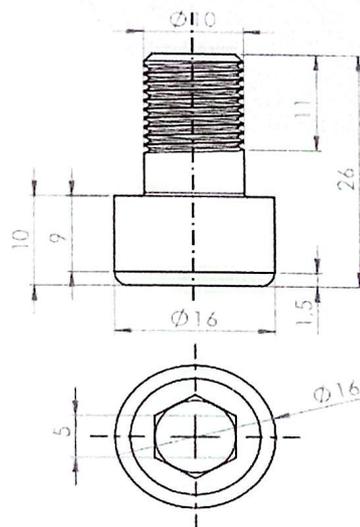
Sesudah mendapat data hasil langkah berikutnya adalah memasukan data tersebut ke dalam *Software* Minitab untuk mengolah data tersebut, data yang sudah diolah akan diolah kembali menggunakan *microsoft excel* untuk mendapatkan parameter proses yang paling optimal.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pelaksanaan Eksperimen

Eksperimen ini menggunakan metode *Design of Experiment* (DoE) Taguchi, yang dikenal efisien dalam mengoptimalkan proses dengan jumlah percobaan yang minimal. Rancangan *orthogonal array* yang dipilih adalah L27, yang memungkinkan pengujian empat parameter dengan tiga level yang berbeda untuk setiap parameter. Setiap kombinasi parameter diulang sebanyak 3 kali untuk memastikan keandalan data dan mengurangi variabilitas pengukuran. Setelah parameter ditetapkan, spesimen yang akan diuji keakurasiannya dirancang menggunakan perangkat lunak *Autodesk SolidWorks*. Kemudian, diekspor ke dalam format STL dan diimpor ke dalam *software Ultimaker Cura 4.11.0*. Di dalam Cura, parameter pencetakan disesuaikan berdasarkan hasil yang telah ditentukan sebelumnya, kemudian file disimpan dalam format G-code. G-code inilah yang akan dibaca dan dijalankan oleh mesin *3D printer* saat proses pencetakan dimulai. Mendesain Spesimen yang akan dipakai dalam pengujian, pada tahap ini menggunakan *software auto desk Solidwork* dan file di *export* dalam format STL. Desain Spesimen ditunjukkan pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Desain Spesimen

4.2 Parameter Eksperimen

Parameter proses 3D *Printing* FDM yang diselidiki dalam penelitian ini meliputi:

1. *Layer Height* (Tinggi Lapisan): Parameter ini sangat krusial dalam menentukan resolusi vertikal dan waktu pencetakan.
2. *Infill Density* (Kepadatan Isi): Berpengaruh pada kekuatan struktural dan berat objek cetakan.
3. *Print Speed* (Kecepatan Cetak): Mempengaruhi waktu pencetakan dan kualitas permukaan.
4. *Nozzle Temperature* (Suhu Nozel): Berpengaruh pada adhesi antar lapisan dan sifat aliran *filament*.

4.3 Bahan dan Peralatan

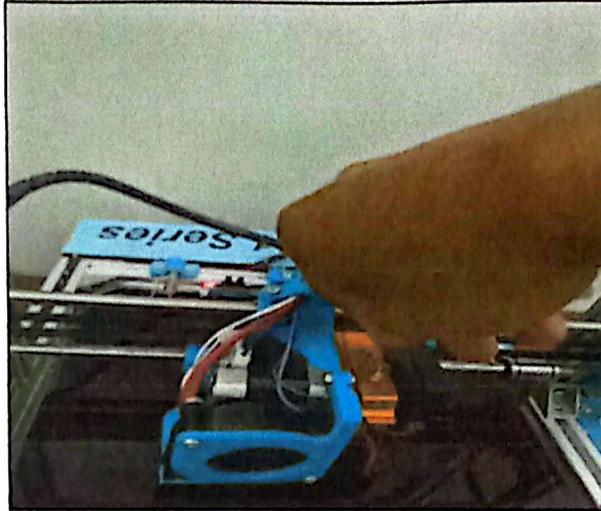
1. **Printer 3D FDM** : Digunakan sebagai alat utama untuk mencetak objek percobaan. (Jenis printer spesifik tidak disebutkan, namun penting dalam laporan penuh).
2. **Filament PLA+** : Dipilih sebagai material cetak karena kemudahan penggunaannya dan karakteristik yang umum dalam *prototyping*.
3. **Jangka Sorong Digital** : Digunakan untuk melakukan pengukuran akurasi dimensi pada objek cetakan. Instrumen ini dipilih untuk memastikan presisi pengukuran deviasi.

4.4 Prosedur Pelaksanaan

Prosedur pelaksanaan eksperimen melibatkan langkah-langkah berikut:

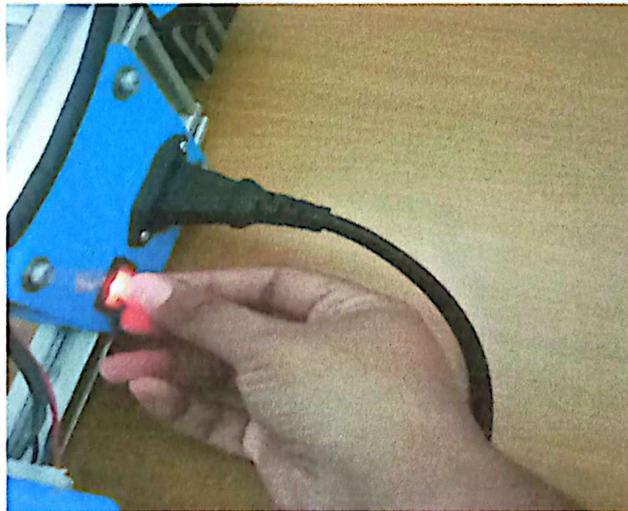
1. Format STL tersebut diinput ke *software ultimaker cura* untuk mengatur parameter proses dan level yang telah ditentukan sebelumnya dan kemudian file di *export* dalam bentuk *G-code*.
2. File *G-code* yang sudah diexport kemudian akan di input ke mesin dan selanjutnya akan dilakukan proses *printing* spesimen dengan parameter proses yang telah dirancang. Tahapan pencetakan spesimen uji pada mesin 3D *printing* adalah sebagai berikut:

- a. Langkah pertama adalah dengan memasang terlebih dahulu *filament* yang akan dipakai, yang ditunjukkan pada Gambar 4.2



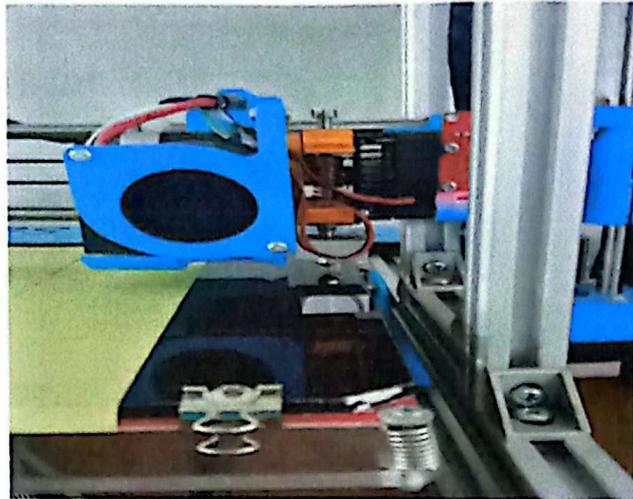
Gambar 4.2 Pemasangan Filament

- b. Jika filament sudah terpasang pada tempatnya Tekan tombol ON untuk menyalakan mesin, yang ditunjukkan pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Menyalakan Mesin

- c. Lakukan pengkalibrasian meja mesin agar permukaan meja menjadi datar serta mengatur jarak antara *nozzle* dengan meja, yang ditunjukkan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Mengkalibrasi Bed Mesin

- d. Masukkan *Sandisk* yang sudah berisi file *G-code* yang disimpan di laptop yang telah diinput dari *software Ultimaker Cura*, masukan pada slot *Sandisk* yang ada disebelah kiri monitor mesin, yang ditunjukkan pada Gambar 4.5



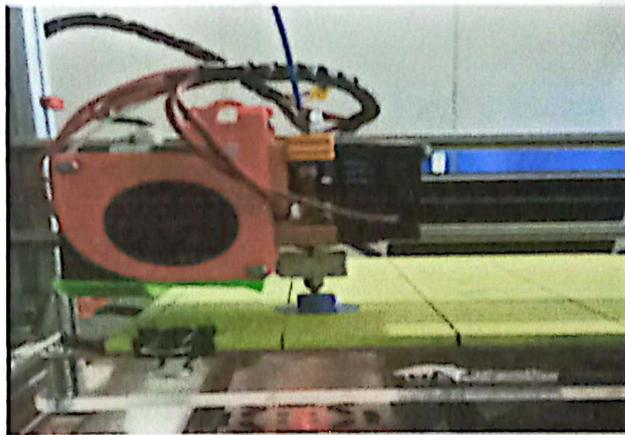
Gambar 4.5 Memasukan *Sandisk* Ke Mesin

- e. Atur parameter proses yang ada pada mesin yaitu *Nozzle Temperature* dan *Bed Temperature* atur sesuai dengan parameter proses yang digunakan pada penelitian ini, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Mengatur Parameter Proses Pada Mesin 3D Printing

- f. Pada saat mesin sudah siap pastikan lagi bahwa semua sudah terpasang dengan benar, selanjutnya akan dilakukan proses pencetakan, dalam proses ini lakukan pencetakan sesuai urutan agar mudah untuk didata, ditunjukkan pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Proses Pencetakan Spesimen

- g. Spesimen yang sudah di cetak semua, maka akan dilakukan pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.8

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh parameter proses 3D Printing FDM terhadap akurasi dimensi dengan metode Design of Experiment (DoE) Taguchi, diperoleh kesimpulan:

1. Penelitian ini berhasil menganalisis secara mendalam pengaruh setiap parameter proses *3D printing* FDM—termasuk suhu *nozzle*, kepadatan *infill*, kecepatan pencetakan, dan tinggi lapisan—terhadap akurasi dimensi produk. Ini memberikan pemahaman jelas tentang bagaimana setiap faktor berkontribusi pada presisi cetakan.
2. Penerapan metode Taguchi terbukti sangat efektif dalam mengidentifikasi parameter paling signifikan dan mengoptimasi pengaturan proses untuk meningkatkan akurasi dimensi produk FDM. Ini menunjukkan bahwa pendekatan sistematis ini adalah alat yang ampuh untuk mencapai kualitas cetakan yang lebih baik.
3. Penelitian ini berhasil menyusun panduan sistematis atau metode yang komprehensif untuk menentukan pengaturan parameter proses yang optimal saat menggunakan filamen PLA+ pada mesin *3D printing* FDM. Panduan ini akan menjadi referensi berharga bagi para pengguna *3D printing* untuk mencapai akurasi dimensi produk yang maksimal.

5.2 Saran

Penelitian lanjutan disarankan untuk:

1. **Ekplorasi Material Filamen Lain.** Lakukan penelitian serupa dengan jenis filamen lain (misalnya ABS, PETG, Nylon) untuk melihat bagaimana parameter proses yang sama memengaruhi akurasi dimensi pada karakteristik material yang berbeda. Ini akan memperluas cakupan panduan optimasi.
2. **Variabel Parameter Tambahan.** Sertakan variabel parameter proses pencetakan tambahan yang belum dibahas, seperti pengaturan *retraction* (jarak dan kecepatan), kecepatan kipas pendingin, atau suhu *bed* (lapisan dasar), untuk mendapatkan pemahaman yang lebih holistik tentang faktor-faktor yang memengaruhi akurasi dimensi.
3. **Pengujian Geometri Kompleks.** Terapkan hasil optimasi parameter pada pencetakan objek dengan geometri yang lebih kompleks atau fitur detail yang sangat kecil. Ini akan menguji ketahanan dan keefektifan panduan dalam skenario aplikasi yang lebih menantang.
4. **Analisis Biaya dan Waktu Produksi.** Lakukan studi lebih lanjut mengenai keseimbangan antara akurasi dimensi yang optimal dengan efisiensi biaya material dan waktu pencetakan. Tujuannya adalah untuk menemukan "titik manis" yang paling praktis untuk penggunaan industri atau skala produksi.
5. **Pengembangan Perangkat Lunak Pendukung.** Pertimbangkan pengembangan *tool* atau perangkat lunak berbasis web/aplikasi yang mengintegrasikan panduan optimasi dari penelitian ini. Ini akan mempermudah pengguna *3D printing* untuk memasukkan spesifikasi filamen dan *desired* akurasi, lalu mendapatkan rekomendasi parameter yang optimal secara otomatis.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, B., & dkk. (2023). Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Filament PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol). *Sungailiat: Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*.
- Andriayansyah, D., & dkk. (2021). Evaluasi akurasi dimensi pada objek hasil 3D Printing.
- Bari, M. H. (2021). OPTIMASI PARAMETER PROSES PADA 3D PRINTING FDM TERHADAP KEKUATAN TARIK FILAMENT PLA FOOD GRADE MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI L27. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*.
- Christiliana, M., & dkk. (2021). Optimasi Proses pada 3D Printing FDM terhadap Akurasi Dimensi Filament PLA Food Grade. *Sungailiat: Manutech*.
- E., J., & dkk. (2019). Pengaplikasian Pengolah Data Pengukuran Kebulatan (Roundness) Pada Alat Ukur (Roundness Tester Machine) Di Laboratorium Pengukuran Teknik Mesin Universitas Riau. *Pekanbaru*.
- Ferdiansyah, A. (2021). PENGARUH PARAMETER PROSES PADA 3D PRINTING FDM TERHADAP KEKUATAN TARIK FILAMENT ABS CCTREE. *Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung*.
- Hasdiansah, & dkk. (2020). Optimasi parameter proses terhadap akurasi dimensi Pla food grade menggunakan metode taguchi.
- I, S. (2009). Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi. 1, 1.
- Lestari, M., & dkk. (2022). Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Akurasi Dimensi. *Sungailiat*.
- Minh. (2022). Fused Deposition Mode;ing (FDM). *Mnautech*.
- P, P., & dkk. (2020). Optimasi Parameter Proses Terhadap Akurasi Dimensi Pla Food Grade Menggunakan Metode Taguch. *Sungailiat: Manutech*, 175-186.
- P., G., & dkk. (2023). Nozzle temperature calibration in 3D printing. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*.
- Persada, T. C., & dkk. (2020). Pengaruh parameter proses 3D Printer teknologi digital.
- Pristiansyah, & dkk. (2019). Optimasi parameter proses 3D printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex. *Sungailiat: Manutech*.
- Purnomo, H. S. (2022). Optimasi Parameter Proses Pengeboran Pada Material Komposit Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal PASTI (Penelitian Dan Aplikasi Sistem & Teknik Industri)*, 16(2), 163-172.
- Rosalina, & dkk. (2024). Pengaruh parameter proses pada pencetakan 3D Printing terhadap akurasi dimensi filamen PETG menggunakan metode Taguchi. *Sungailiat: Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*.
- Samosir, A. O. (2021). Perancangan dan Pembuatan 3D Printer Berbasis FDM dengan Pemanfaatan Material Plastik Daur Ulang. *Jurnal Integrasi Sistem Industri*.

- Saputra, W. R., & dkk. (2023). Pengaruh parameter proses terhadap kekuatan tarik produk hasil 3D printing menggunakan filament asa. *Sungailiat: Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*.
- Sidi, P., & dkk. (2013). Aplikasi Metode Taguchi untuk mengetahui optimasi kebulatan pada proses bubut cnc. *Surabaya*.
- Sihombing, P. R. (2022). Buku Aplikasi Minitab Untuk Statistisi Pemula. *ResearchGate*.
- Suzen, Z. S. (2020). Pengaruh Tipe Infill Dan Temperatur Nozzle Terhadap Kekuatan Tarik Produk 3D Printing Filamen Pla+ Esun. *Sungailiat: Manutech*.
- Yanis, M. (2010). Analisis Profil Kebulatan Untuk Menentukan Kesalahan Geometrik pada Pembuatan Komponen Menggunakan Mesin Bubut. *Ogan Ilir: media neliti*.
- Shenzhen eSUN Industrial Co., Ltd. (2020). *PLA+ Filament Technical Data Sheet*.
<https://www.esun3d.net/>

LAMPIRAN

Lampiran 1: Daftar Riwayat hidup

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Data Pribadi

Nama lengkap : Andi Meri
Tempat & tanggal lahir : 05 Maret 2003
Alamat rumah : Jl. Nelayan II Sungailiat
Telp: 0877 5484 3024
Hp: 0877 5484 3024
Email: andimeri1234@gmail.com
Jenis kelamin : Perempuan
Agama : Islam

2. Riwayat Pendidikan

| | |
|-------------------------|-------------------|
| SD Negeri 06 Sungailiat | Tahun 2011 – 2016 |
| SMP Negeri 1 Sungailiat | Tahun 2016 – 2019 |
| SMK Negeri 1 Sungailiat | Tahun 2019 – 2022 |

Sungailiat, 20 Juni 2025

Andi Meri

Penelitian yang menggunakan Metode Taguchi menyediakan pendekatan sistematis untuk menganalisis serta mengoptimalkan parameter proses. Metode ini merupakan teknik statistik yang bertujuan meningkatkan kualitas produk dengan cara mengurangi variasi dan mengidentifikasi parameter yang berpengaruh signifikan. Dalam studi ini, beberapa faktor yang diduga memengaruhi ketepatan dimensi cetakan 3D FDM menggunakan filament PLA+ meliputi suhu *extruder* yang idealnya berada di rentang 190°C hingga 250°C kecepatan pencetakan sekitar 60 mm/s, serta ketebalan lapisan sebesar 0,2 mm. Hasil dari penelitian terdahulu menunjukkan bahwa perubahan pada parameter-parameter tersebut (Bari, 2021)

Berdasarkan penelitian terdahulu, metode yang diterapkan untuk meningkatkan parameter proses adalah metode Taguchi dengan rancangan eksperimen L27 OA. Parameter yang dianalisis meliputi suhu nozzle, ketebalan lapisan, kecepatan cetak, tingkat infill, dan suhu pada platform pemanas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi parameter optimal agar mencapai keakurasian dimensi diameter luar spesimen adalah suhu nozzle 190°C, ketebalan lapisan 0,15 mm, kecepatan cetak 45 mm/s, tingkat infill 12%, dan suhu platform 45°C, dengan nilai pengukuran sebesar 29,98 mm. Untuk tinggi spesimen, parameter optimal adalah suhu nozzle 185°C, ketebalan lapisan 0,20 mm, kecepatan cetak 40 mm/s, infill 8%, dan suhu platform 40°C, menghasilkan nilai 39,85 mm. Sedangkan untuk kombinasi optimal pada diameter luar dan tinggi spesimen adalah suhu nozzle 185°C, ketebalan lapisan 0,20 mm, kecepatan cetak 40 mm/s, infill 12%, dan suhu platform 40°C, dengan nilai pengukuran sebesar 34,87 mm. (Christilian, 2021).

Pada penelitian terdahulu Parameter yang digunakan yaitu Nozzel Temperature, Bed Temperature, Flowrate, Prin Speed, Layer Thiknes, Infill Overlap, Infill Density, dan Infill Speed. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa parameter yang paling berpengaruh untuk tinggi spesimen yaitu penelitian no. 4 dan 11 dengan nilai 19,99 sementara nilai terendah berada pada nomor 26 dengan nilai 19,73 mm. Dan parameter proses yang paling berpengaruh berturut-turut adalah Nozzel Temperature (235°C), Bed Temperature