

OPTIMASI PARAMETER PROSES 3D *PRINTING* TERHADAP KEBULATAN PRODUK CETAK

PROYEK AKHIR

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



Disusun Oleh :

Wahyudi

NIM : 1042130

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**JUDUL PROYEK AKHIR
OPTIMASI PARAMETER PROSES 3D *PRINTING* TERHADAP
KEBULATAN PRODUK CETAK**

Oleh :

Wahyudi

NIM : 1042130

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

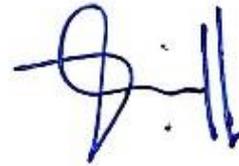
Menyetujui,

Pembimbing 1



Zaldy S. Suzen, S.S.T., M.T

Pembimbing 2



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

Penguji 1



Zulfitriyanto, S.S.T., M.T

Penguji 2



Juanda, S.S.T., M.T

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Wahyudi NIM: 1042130

Dengan Judul : OPTIMASI PARAMETER PROSES 3D *PRINTING*
TERHADAP KEBULATAN PRODUK CETAK

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, 24 Juli 2024

Nama Mahasiswa

Tanda tangan

Wahyudi

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Wahyudi', written over a dotted line.

ABSTRAK

Teknologi 3D printing merupakan salah satu perkembangan industri manufaktur, yang terkenal dan murah adalah Fused Filament Fabrication (FFF) dan juga dikenal sebagai Fused Deposition Modelling (FDM). Teknologi ini menggunakan thermoplastic yang diekstrusi melalui nozzle panas untuk membuat produk lapis per lapis. Namun teknologi 3D Printing masih memiliki kekurangan dalam segi keakurasian dimensi yang dapat menyebabkan perbedaan ukuran produk dari desain yang diinginkan. Penelitian ini berfokus pada pengukuran kebulatan produk cetak menggunakan 3D printing dengan material PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol) untuk mengoptimalkan parameter prosesnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui parameter yang paling berpengaruh dan paling optimal terhadap kebulatan produk. Kebulatan diukur menggunakan dial indikator yang dapat menentukan seberapa bulat suatu objek dengan mengukur variasi ketinggian pada permukaan objek tersebut. Metode Taguchi L9 digunakan dalam penelitian ini untuk mendapatkan parameter optimal dan menganalisis pengaruh parameter proses 3D Printing terhadap kebulatan produk PETG. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter paling optimal untuk kebulatan adalah Layer Height sebesar 0,1 mm, Infill Density sebesar 100%, dan Print Speed 25 mm/s dengan nilai rata-rata uji kebulatan 0,10500 dan nilai S/N tertinggi sebesar 19,3341. Faktor yang paling berpengaruh terhadap kebulatan filament PETG secara berturut-turut adalah Layer Height, Infill Density, dan Print Speed. Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode taguchi efektif dalam mengoptimalkan parameter proses 3D Printing untuk meningkatkan keakurasian dimensi produk, khususnya dalam hal kebulatan, serta mengurangi jumlah percobaan yang diperlukan tanpa mengorbankan kualitas data.

Kata Kunci: 3D Printing, FDM, Filament PETG, Kebulatan , Dial Indikator, Taguchi L9.

ABSTRACT

3D printing technology is one of the developments in the manufacturing industry, known for its affordability and popularity with technologies like Fused Filament Fabrication (FFF), also known as Fused Deposition Modelling (FDM). This technology uses thermoplastics extruded through a heated nozzle to create products layer by layer. However, 3D printing technology still has drawbacks in terms of dimensional accuracy, which can lead to size differences between the product and the desired design. This research focuses on measuring the roundness of printed products using 3D printing with PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol) material to optimize the process parameters. The aim of this study is to identify the most influential and optimal parameters for product roundness. Roundness is measured using a dial indicator, which can determine how round an object is by measuring variations in height on the surface of the object. The Taguchi L9 method is used in this study to obtain optimal parameters and analyze the effect of 3D printing process parameters on the roundness of PETG products. The research results indicate that the most optimal parameters for roundness are a Layer Height of 0.1 mm, Infill Density of 100%, and Print Speed of 25 mm/s with an average roundness test value of 0.10500 and the highest S/N value of 19.3341. The factors that most influence the roundness of PETG filament, in order, are Layer Height, Infill Density, and Print Speed. This research concludes that the Taguchi method is effective in optimizing 3D printing process parameters to improve the dimensional accuracy of products, particularly in terms of roundness, while also reducing the number of trials needed without sacrificing data quality.

Keywords: 3D Printing, FDM, PETG Filament, Roundness, Dial Indicator, Taguchi L9.

KATA PENGANTAR

Selamat Pagi ,Salam Sejahtera untuk kita semua

Segala puji bagi Tuhan , puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan KasihNya penulis dapat menyelesaikan Laporan Proyek Akhir ini untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada Program Studi D-IV Teknik Mesin Dan 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 kritik dan saran dari 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. Tuhan Yang Maha Esa 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 Zaldy Sirwansyah Suzen, S.S.T., M.T., selaku pembimbing I yang telah meluangkan waktu dan pikiran dalam proses pengerjaan proyek akhir dan penyusunan laporan proyek akhir ini
5. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng., 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 Tuhan Yang Maha Esa 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, 24 Juli 2024

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
ABSTRAK	iv
<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.....	3
1.3. Batasan masalah	3
1.4. Tujuan.....	3
BAB II.....	4
LANDASAN TEORI.....	4
2.1. <i>3D Printing</i>	4
2.2. Prinsip Dasar/Prinsip Kerja Mesin <i>3D Printing</i>	4
2.3. Tipe Mesin <i>3D Printing</i> FDM	4
2.4. Keunggulan Mesin <i>3D Printing</i>	5
2.5. <i>Filament</i> PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)	5
2.6. Parameter Proses	6
2.7. Metode Taguchi.....	7
2.8. Pengujian kebulatan.....	8
2.9. Desain Eksperimen Taguchi	8
2.10. Tahap Analisis.....	11
2.11. <i>Minitab</i>	12
2.12. Penelitian Sebelumnya	12

BAB III.....	14
METODE PELAKSANAAN.....	14
3.1. <i>Flowchart</i> (Diagram Alir).....	14
3.1.1. Studi Literatur	15
3.1.2. Persiapan Alat dan Bahan	15
1. Alat	15
3.1.3. Penentuan Parameter	19
3.1.4. Uji Kebulatan	21
3.1.5. Pengolahan Data.....	21
BAB IV	22
HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1. Pelaksanaan Eksperimen.....	22
4.2. Pengambilan Data Hasil Eksperimen	26
4.3. Pengolahan Data Hasil Eksperimen	28
4.4. Perhitungan Rasio S/N.....	36
4.5. Persen Kontribusi.....	38
4.6. Uji Konfirmasi	38
BAB V.....	39
PENUTUP.....	39
5.1. Kesimpulan	39
5.2. Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	42

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2. 1 Spesifikasi Filamen PETG	6
3. 1 Paramater Proses Penelitian.....	19
3. 2 Derajat Kebebasan	20
3. 3 Desain Faktorial Penelitian L ₉	20
4. 1 Data Hasil Uji Kebulatan di Setiap Titik.....	27
4. 2 Data Hasil Uji Kebulatan.....	28
4. 3 Nilai S/N Ratio Untuk Kebulatan Spesimen	34
4. 4 <i>Response Table for Means</i>	35
4. 5 <i>Response Table for Signal to Noise Ratio</i>	35
4. 6 Perhitungan Nilai S/N Ratio dengan Minitab	37
4. 7 <i>Analysis of Variance</i>	38
4. 8 Perbandingan Parameter 1 dengan Parameter Optimum.....	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1 Bagian Mesin 3D tipe FDM	5
2. 2 Filamen PETG (<i>Polyethylene Terephthalate Glycol</i>)	6
3. 1 <i>Flowchart</i> (Diagram Alir)	14
3. 2 Mesin 3D <i>Printing</i> Model <i>Haltech H-01 Cartesian</i>	15
3. 3 (a) Dial Indikator dan (b) Mesin Bubut.....	16
3. 4 Desain Spesimen di <i>Software Auto Desk Fushion 360°</i>	16
3. 5 View Spesimen di <i>Software Ultimaker Cura 5.7.0</i>	17
3. 6 Tampilan pada <i>Software Minitab</i>	17
3. 7 Laptop (sumber: fanaticosdelhardware.com)	18
3. 8 Filament PETG (<i>Polyethylene Terephthalate Glycol</i>)	18
4. 1 Desain Spesimen	22
4. 2 Pemasangan <i>Filament</i>	23
4. 3 Menyalakan mesin	23
4. 4 Mengkalibrasi <i>bed</i> mesin.....	24
4. 5 Memasukkan <i>Sandisk</i> ke mesin	24
4. 6 Mengatur parameter proses pada mesin 3D <i>Printing</i>	25
4. 7 Proses pencetakan spesimen	25
4. 8 Seluruh spesimen	26
4. 9 Proses pengujian kebulatan	26
4. 10 Titik uji spesimen.....	27
4. 11 Tampilan <i>Worksheet</i> pada <i>Minitab</i>	29
4. 12 Tampilan <i>Taguchi Design</i>	30
4. 13 Tampilan <i>Design</i>	30
4. 14 Tampilan <i>Factors</i>	31
4. 15 Tampilan <i>Worksheet</i> Desain <i>Factorial L9</i>	31
4. 16 Tampilan <i>Analyze Taguchi Design</i>	32
4. 17 Tampilan Menu <i>Graphs</i>	32

4. 18 Tampilan Menu <i>Options</i>	33
4. 19 Tampilan Menu <i>Storage</i>	33
4. 20 Grafik <i>Main Effects Plot for Means</i>	34
4. 21 Grafik <i>Main Effects Plot for SN Ratio</i>	35



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Daftar Riwayat Hidup



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dunia manufaktur 50 tahun belakangan ini membuat kemajuan yang signifikan dan berkelanjutan dalam industri manufaktur, Pencetakan 3D merupakan salah satu teknologi yang perkembangannya cepat. Kemunculan teknologi pencetakan 3D dalam industri manufaktur memberikan dampak besar, khususnya di kalangan sektor industri. Teknologi pencetakan 3D ini masih memiliki kelemahan dalam hal akurasi dimensinya hal ini membuat produk yang dicetak mengalami pengurangan atau penambahan ukuran dari desain yang diinginkan [1]. Teknologi pencetakan 3D yang populer dan terjangkau adalah FFF (*Fused Filament Fabrication*). Teknologi ini dikenal dengan nama *Fused Deposition Modelling* (FDM). yang dimana cara kerja FDM yaitu dengan *extrude thermoplastic* melalui *nozzle* yang panas pada suhu lelehnya, dan dalam pencetakannya dibuat lapis demi lapis. Dua bahan sering ditemukan adalah PLA dan ABS, Teknologi 3d *printing* dengan tipe FDM dapat menghasilkan duplikat produk dengan akurat material ABS, sehingga menjadi sangat krusial untuk mengetahui keakuratan dimensi produk [2].

Pada penelitian 3D *printing* terhadap akurasi dimensi salah satu yang ditinjau adalah kebulatan. Pengukuran kebulatan adalah proses untuk memeriksa seberapa bulat suatu objek, atau untuk menentukan objek tersebut jika dilihat secara detail menggunakan alat ukur benar-benar bulat atau tidak. Secara umum, sebuah profil kebulatan dianggap sempurna apabila jarak titik-titik pada bentuk geometris tersebut serupa dengan titik pusat. Sedangkan, struktur kebulatan dikatakan tidak ideal apabila terdapat ketidak bulatan yang ditunjukkan oleh selisih jarak antar titik dalam bentuk geometris tersebut terhadap titik pusatnya. ISO/R 1101 menjelaskan bahwa toleransi kebulatan sebagai area toleransi pada zona penampang yang dikelilingi oleh dua lingkaran konsentris dengan perbedaan radius sebesar nilai toleransinya [3]

Dial indikator adalah alat bantu untuk mengukur penyimpangan bulat suatu benda. Dial indikator dipakai untuk menghitung variasi ketinggian pada area suatu objek,

sehingga bisa ditentukan apakah permukaan objek tersebut rata atau tidak. fungsi ini dipakai untuk, melihat spesimen dapat dilihat kebulatannya. Dengan menetapkan titik poros spesimen sebagai acuan (titik nol), selanjutnya mengukur titik lainnya sehingga dapat mengetahui apakah terjadi deformasi atau tonjolan yang berpengaruh terhadap kebulatan benda dan besar nilainya [3].

Pada penelitian yang menggunakan metode taguchi L27 OA yang paling berpengaruh berturut-turut yaitu *Nozzel Temperature* (235°C), *Bed Temperature* (100°C), *Infill Density* (25%), *Infil Overlap* (10%), *Layer Thickness* (30mm), *Printing Speed* 940mm/s), *Infill Speed* (40mm/s), dan *Flowrate* (90%) [4].

Pada penelitian pengaruh parameter dengan filamen terhadap kekasaran permukaan menggunakan filament *PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)* menggunakan metode taguchi L9(4³) Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi parameter optimum dalam uji kekasaran permukaan, menggunakan parameter-parameter proses seperti Suhu Nozzle, Laju aliran, Kecepatan pencetakan, dan Ketebalan lapisan. Penelitian ini menunjukkan nilai optimum untuk kekasaran permukaan adalah Suhu Nozzle (230°C), Laju Aliran (110%), Kecepatan Pencetakan (40mm/s), dan Ketebalan Lapisan (0,15mm) [5].

Pada penelitian yang mendapatkan nilai akurasi dimensi pada diameter spesimen yang paling optimal yaitu terdapat pada spesimen desain factorial L9 dengan *nozzle temperature* (250°C), *infill overlap percentage* (50%), dan *layer height* (0,10mm), dengan rata-rata nilai uji sebesar 40,07 mm [6].

Berdasarkan penelitian di atas maka penelitian ini proses 3D *printing* menggunakan filament *Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG) terhadap kebulatan produk. Untuk mendukung penelitian agar mencapai hasil yang optimal, penelitian ini untuk mendapatkan hasil optimum kebulatan untuk pembuatan poros pada produk tertentu seperti pembuatan poros roda gigi untuk mekanisme sederhana pada mainan atau alat mekanis kecil, analisis yang digunakan merupakan hasil pertimbangan dari beberapa penelitian terkait, yaitu menggunakan metode Taguchi L9 dan pada penelitian ini akan mengukur kebulatan menggunakan dial indikator.

1.2. Rumusan masalah

Rumusan masalah yang ada pada penelitian ini:

1. Bagaimana mendapatkan parameter yang optimum terhadap kebulatan produk?
2. Bagaimana pengaruh parameter proses 3D printing terhadap kebulatan produk?

1.3. Batasan masalah

Penelitian ini, menetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya menggunakan teknologi *FDM (Fused Deposition Modelling)* atau *FFF (Fused Filament Fabrication)*.
2. Penelitian difokuskan pada penggunaan *filament PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)* saja.
3. Parameter yang diteliti meliputi *Layer Height, Infill Density type lines, Print Speed*
4. Metode penelitian ini menggunakan Taguchi L9
5. Pengukuran kebulatan menggunakan Dial Indikator

1.4. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan parameter optimal mesin 3D Printing dari segi kebulatan PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*).
2. Menganalisis Pengaruh parameter proses 3D *printing* dari segi kebulatan PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*).

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. 3D Printing

3D *printing* adalah teknologi yang dapat 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 menggunakan komputer (CAD) dan pengaplikasiannya menggunakan mesin 3D *printing* yang proses pembentukannya secara bertahap (*layer by layer*) [7].

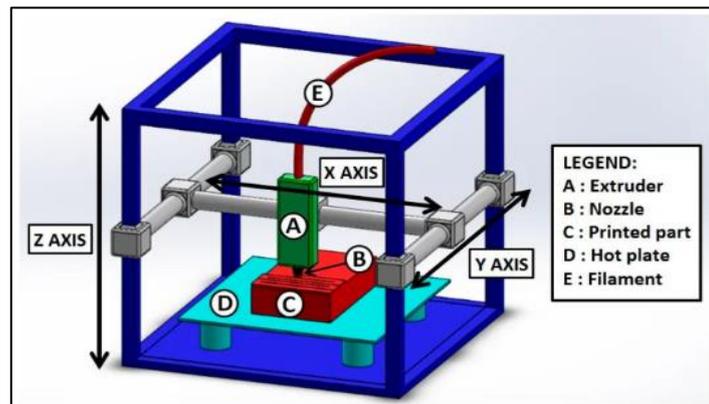
2.2. Prinsip Dasar/Prinsip Kerja Mesin 3D Printing

Prinsip dasar mesin 3D *printing* dengan cara melibatkan partikel padat, dan akan diproses dengan penyinaran menggunakan laser untuk mencairkan bubuk plastik hingga mencair. Cairan yang dihasilkan, akan mendapatkan penyinaran laser berupa ultraviolet, dan pada saat itu akan merubah dari cair menjadi padat.

Prinsip kerjanya, menyiapkan model 3D dan diubah menjadi lapisan demi lapisan 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.

2.3. Tipe Mesin 3D Printing FDM

Fused Deposition Modelling (FDM) atau Pemodelan Deposisi Gabungan, memiliki cara kerja dengan *extrude thermoplastic* melalui *nozzle* yang panas pada suhu lelehnya, dan dalam pencetakannya dibuat lapis demi lapis, yang dimana ini merupakan tipe dengan harga lebih terjangkau di banding tipe lainnya, ramah lingkungan, dan waktu pencetakannya lebih cepat. Namun, adapun kekurangan dari tipe FDM ini adalah hasil cetakannya kurang halus. Mesin bertipe FDM di tunjukkan 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. *Prototyping* yang cepat
2. Pengurangan limbah
3. Produksi kompleks
4. Hasil lebih akurat

2.5. Filament PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)

Filament ini merupakan variasi *Polyethylene Terephthalate* (PET) yang telah dimodifikasi dengan penambahan *glycol* untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu.

1. Kelebihan:
 - a. Mudah dicetak
 - b. Kekuatan dan ketahanan yang baik
 - c. Fleksibilitas yang baik
 - d. Tidak beracun
2. Kekurangan:
 - a. *Stringing*
 - b. Pendinginan yang lama
 - c. Adhesi pada alas

Gambar filament PETG yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*)

Informasi spesifikasi pada filament PETG yang menjadi acuan pada penelitian ini di tunjukan pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Spesifikasi Filamen PETG

Spesifikasi Filamen	
<i>Filament Diameter</i>	1,75 mm
<i>Print Temperature</i>	230°C - 250°C
<i>Print Bad Temperature</i>	60°C - 80°C
<i>Roundness Tolerance</i>	0,01 - 0,02 mm
<i>Net Weight</i>	1 kg/roll
<i>Infill Speed</i>	20 mm/s -50 mm/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 adalah sebuah metodologi di ranah teknik bermanfaat untuk meningkatkan kualitas produk dan proses secara serentak, serta mengoptimalkan penggunaan biaya dan sumber daya. Metode Taguchi bertujuan untuk mencapai sasaran tersebut dengan membuat hasil dan berbagai 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 [9].

2.8. Pengujian kebulatan

Kebulatan berperan krusial dalam mendistribusikan beban secara merata, menentukan usia komponen, memastikan kesesuaian, mencapai ketepatan putaran, dan mempermudah pelumasan. Dalam menghasilkan produk yang diinginkan khususnya produk-produk yang berbentuk bulat [10]. Pengukuran kebulatan adalah proses untuk memeriksa seberapa bulat suatu objek, atau untuk menentukan objek tersebut jika dilihat secara detail menggunakan alat ukur benar-benar bulat atau tidak. Secara umum, sebuah profil kebulatan dianggap sempurna apabila jarak titik-titik pada bentuk geometris tersebut serupa dengan titik pusat. Sedangkan, struktur kebulatan dikatakan tidak ideal apabila terdapat ketidak bulatan yang ditunjukkan oleh selisih jarak antar titik dalam bentuk geometris tersebut terhadap titik pusatnya. ISO/R 1101 menjelaskan bahwa toleransi kebulatan sebagai area toleransi pada zona penampang yang dikelilingi oleh dua lingkaran konsentris dengan perbedaan radius sebesar nilai toleransinya [3].

2.9. Desain Eksperimen Taguchi

Metode taguchi adalah metode yang dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas produk dan proses. Metode Taguchi berusaha untuk mencapai tujuan dengan membuat produk dan proses tahan terhadap kesalahan yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti material, fasilitas produk, sumber daya manusia, dan persyaratan operasional [8].

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 selanjutnya diperiksa untuk menentukan faktor-faktor yang berpengaruh serta langkah-langkah untuk melakukan penyempurnaan 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. Pemisah 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: $ufl = \text{Jumlah level factor} - 1$. Sesuai dengan definisinya derajat kebebasan mendeskripsikan sebesar dan sebanyak apa eksperimen 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. 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

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

Yakni:

n = Jumlah pengulangan yang dilakukan

y = data dari hasil uji coba

3. *Large is Better*

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

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

Yakni:

n = Jumlah pengulangan yang dilakukan

y = data dari hasil uji coba

2.11. *Minitab*

Minitab adalah *software* yang dibuat untuk melakukan pengolahan statistik, *Minitab* dianggap sebagai *software* statistik yang kuat, selain itu *Minitab* juga dapat digunakan untuk model univariat dan multivariat karena dapat digunakan dengan data primer dan sekunder. *Minitab* juga melibatkan penggunaan *microsoft excel* yang berfungsi untuk melakukan analisis statistik yang kompleks, dilengkapi dengan model statistik yang digunakan dalam desain eksperimen seperti model DoE dan Taguchi, juga dilengkapi melalui pemodelan regresi nonlinier.

2.12. Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian dengan filamen (PETG) menggunakan metode taguchi L27 OA yang paling berpengaruh berturut-turut yaitu *Nozzel Temperature* (235°C), *Bed Temperature* (100°C), *Infill Density* (25%), *Infil Overlap* (10%), *Layer Thickness* (30mm), *Printing Speed* (40mm/s), *Infill Speed* (40mm/s), dan *Flowrate* (90%) [4]. Pada penelitian tentang pengaruh parameter dengan filamen terhadap kekasaran permukaan menggunakan filament *PETG (Polyethylene Terephthalate Gylacol)* menggunakan metode taguchi L9(4³) Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi parameter optimum dalam uji kekasaran permukaan, menggunakan parameter-parameter proses seperti Suhu Nozzle, Laju aliran, Kecepatan pencetakan, dan Ketebalan lapisan. Penelitian ini menunjukkan nilai optimum untuk kekasaran permukaan adalah Suhu Nozzle (230°C), Laju Aliran (110%), Kecepatan Pencetakan (40mm/s), dan Ketebalan Lapisan (0,15mm) [5].

Pada penelitian yang mendapatkan paling optimum yaitu terjadi pada spesimen desain factorial L9 dengan *nozzle temperature* (250°C), *infill overlap percentage* (50%), dan *layer height* (0,10mm), dengan rata-rata nilai uji sebesar 40,07 mm [6].

Pada penelitian tentang *Nozzle temperature calibration in 3D printing* menjelaskan Nozzle temperature yang optimal untuk PETG adalah 230°C - 250°C [11].

Pada penelitian tentang Pengaruh Tipe *Infill* Dan Suhu nozle Terhadap Kekuatan Tarik 3D *Printing* Filamen Pla+ Esun untuk nilai paling tinggi *Nozzle* 215 °C dan tipe *infill concentric*, dan nilai terendah ada pada no 22 yaitu 24,50 Mpa menggunakan parameter *temperature nozzle* 205 °C dan tipe *infill cross* [12].

Pada penelitian pengaruh parameter proses 3d printer teknologi digital *light processing* terhadap geometris poros. Diketahui faktor yang berpengaruh terhadap keselindrisan poros, yaitu *layer thickness*: 41%, *exposure time*: 1%, interaksi *layer thickness* dan *exposure time*: 52% [13].

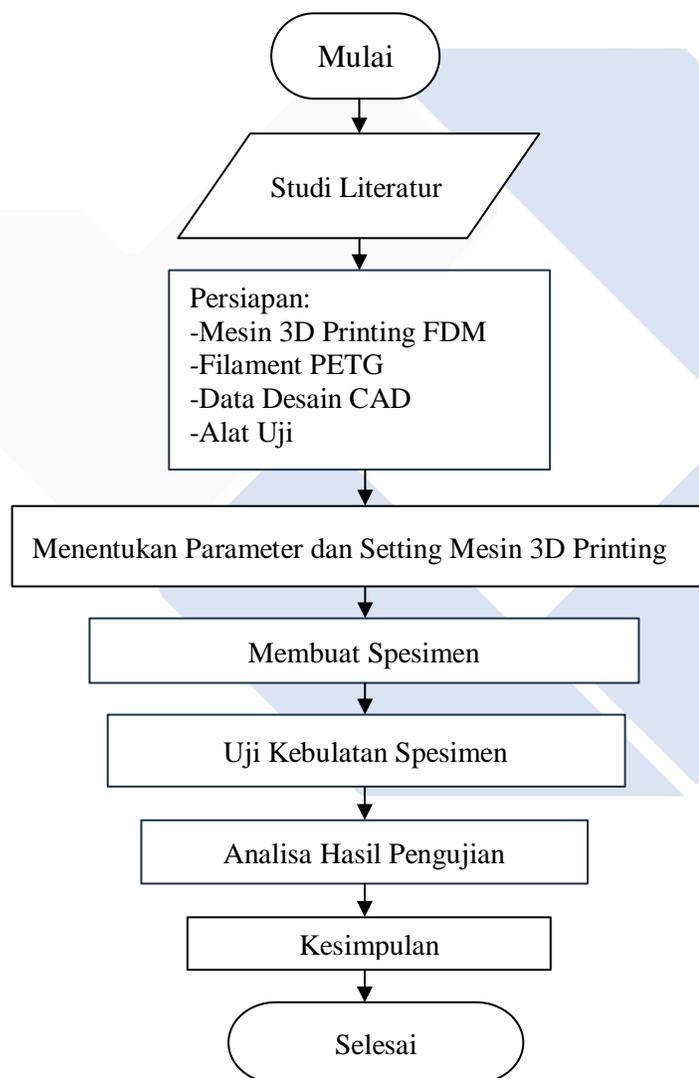
Pada penelitian evaluasi akurasi dimensi pada objek hasil 3d printing Pembuatan objek menggunakan 3D *printing* mengalami deviasi pada dimensi geometri dan posisi. Deviasi geometri bervariasi dari -0,08 mm hingga +0,14 mm. Sedangkan deviasi posisi berada di rentang -0,08 mm hingga +0,12 mm. Berdasarkan data deviasi yang dihasilkan dari perbandingan di atas, maka pembuatan objek 3D *printing* dapat disesuaikan dengan simpangan masing-masing [14].

Pada penelitian optimasi parameter proses terhadap akurasi dimensi pla *food grade* menggunakan metode taguchi tingkat akurasi dimensi paling baik yaitu 19,921 mm dengan selisih terhadap diameter nominal 20 mm sebesar 0,079 mm. Pengaturan parameter proses terbaik pada *slicing software* menggunakan suhu *nozzle* 190 °C, suhu bed 55 °C, dan tebal layer 0,2 mm [15].

BAB III METODE PELAKSANAAN

3.1. *Flowchart* (Diagram Alir)

Langkah-langkah pada penelitian ini terdapat pada *flowcart* (Diagram Alir) yang ada pada gambar 3.1



Gambar 3.1 *Flowchart*

3.1.1. Studi Literatur

Studi Literatur adalah proses mencari referensi terkait kasus konflik yang sedang diteliti. Referensi ini mencakup berbagai sumber, seperti jurnal, buku, laporan, artikel, dan situs web. Studi literatur ini mendukung pelaksanaan sebuah eksperimen atau penelitian.

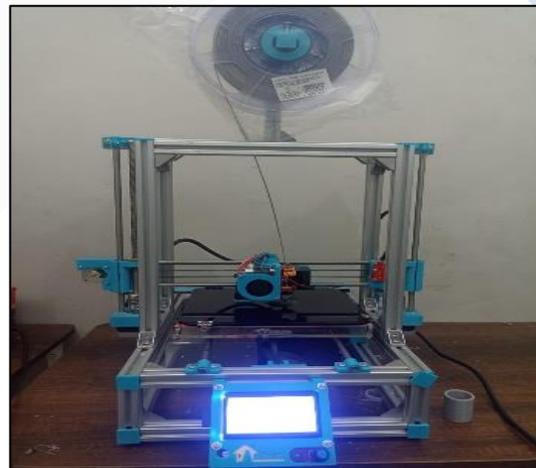
3.1.2. Persiapan Alat dan Bahan

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 Kebulatan

Alat yang digunakan untuk pengujian kebulatan adalah dial indikator dengan ketelitian 0,01 mm, dan mesin bubut untuk membantu dalam pengujian sebagai dudukan pada spesimen, yang ditampilkan pada gambar 3.3 (a) dan (b)



(a)

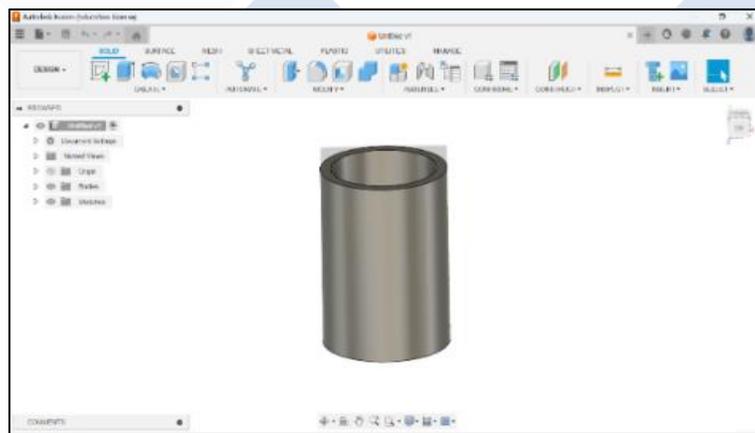


(b)

Gambar 3.3 (a) Dial Indikator dan (b) Mesin Bubut

c. *Software Autodesk Fusion 360°*

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

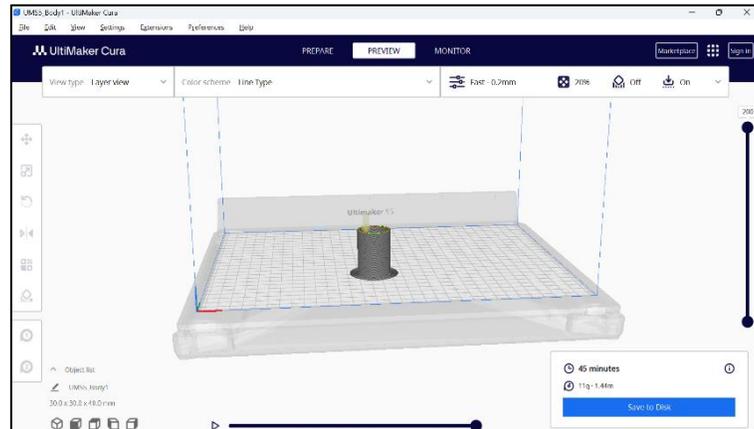


Gambar 3.4 Desain Spesimen di *Software Auto Desk Fushion 360°*

d. *Software Ultimaker Cura 5.7.0*

Software ini akan membaca file STL dan dapat mengatur parameter yang akan

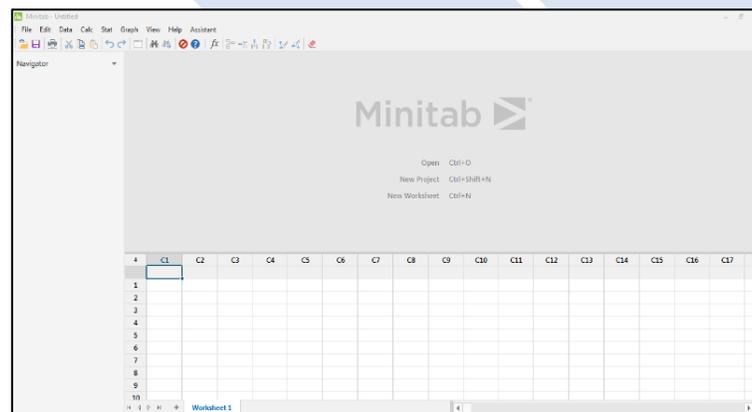
digunakan saat pencetakan pada *software* file akan di simpan dalam bentuk *g-code*, tampilan spesimen pada software ini terdapat pada gambar 3.5



Gambar 3.5 View Spesimen di *Software Ultimaker Cura 5.7.0*

e. *Software Minitab 19*

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



Gambar 3.6 Tampilan Pada *Software Minitab*

f. Laptop

Laptop digunakan untuk menjalankan *Software Autodesk Fusion 360*, *Software Ultimaker Cura 5.7.0* dan *Minitab*, yang ditunjukkan pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Laptop (sumber: fanaticosdelhardware.com)

2. Bahan

Berikut ini bahan yang digunakan pada penelitian ini *Filament PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)*. *Filament* ini merupakan variasi *Polyethylene Terephthalate (PET)* yang telah dimodifikasi dengan penambahan glycol untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu. Gambar filament ini terdapat pada gambar 3.8



Gambar 3.8 Filament PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*)

3.1.3. Penentuan Parameter

Berikut langkah langkah untuk menentukan parameter antara lain:

3.1.3.1. *Design of Experiment* (DoE)

Dalam penelitian ini *Design of Experiment* (DoE) diterapkan untuk menentukan faktor dan variasi parameter, serta menetapkan level variasi parameter yang akan digunakan dalam proses *licer Ultimaker Cura*. Tujuannya adalah untuk menetapkan hasil percobaan minimum sekaligus memperoleh banyak informasi terkait faktor yang memengaruhi parameter dalam optimasi parameter produk printer 3D. Pengujian "*one change at a time*" memiliki resiko, yaitu pelaksanaan eksperimen harus dapat menemukan faktor masukan yang signifikan terhadap hasil akhir, namun mereka terbatas oleh ketidakmampuan untuk mengubah faktor lain demi menjaga stabilitas variabel. Penelitian ini menggunakan parameter: *Infill Density* (%), *Print Speed* (mm/s), *Layer Height* (mm).

3.1.3.2. Penentuan Faktor dan Level Experimen

Pemilihan parameter proses dipengaruhi oleh metode yang digunakan, yang melibatkan faktor-faktor dan eksperimen, parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Infill Density* (%), *Print Speed* (mm/s), *Layer Height* (mm). Eksperimen ini menggunakan *design taguchi* L9 dengan 3 faktor dan 3 level di tunjukan pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Paramater Proses Penelitian

Faktor	Parameter Proses	Level		
		1	2	3
1	<i>Infill Density</i> (%)	80	90	100
2	<i>Print Speed</i> (mm/s)	20	25	30
3	<i>Layer Height</i> (mm)	0,1	0,15	0,2

Tabel 3.1 Menampilkan parameter proses penelitian

3.1.3.3. Pemilihan Matriks Orthogonal

Penerapan matriks ortogonal harus memiliki derajat kebebasan yang sama atau lebih tinggi dari semua parameter proses, derajat kebebasan, dan tingkat faktor yang telah ditetapkan, derajat kebebasan yang digunakan terdapat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Derajat Kebebasan

Faktor	Jumlah Level (k)	Ufl = (k - 1)
<i>Infill Density</i>	3	2
<i>Print Speed</i>	3	2
<i>Layer Height</i>	3	2
Total Derajat Kebebasan		6

Tabel 3.2 Menampilkan bahwa derajat kebebasan minimal termasuk dalam matriks ortogonal yang akan digunakan sebanyak 6. Berlaku untuk desain eksperimen dengan matriks ortogonal L_9 (3^3) dengan memiliki 3 kolom dan 9 baris. Tampilan desain Faktorial ditampilkan pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Desain Faktorial Penelitian L_9

<i>Exp.</i>	<i>Infill Density (%)</i>	<i>Print Speed(mm/s)</i>	<i>Layer Height(mm)</i>
1	80	20	0,10
2	80	25	0,15
3	80	30	0,20
4	90	20	0,15
5	90	25	0,20
6	90	30	0,10
7	100	20	0,20
8	100	25	0,10
9	100%	30	0,15

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

3.1.4. Uji Kebulatan

Variabel respon yang diteliti pada penelitian ini yaitu kebulatan produk. Setelah semua spesimen dicetak, akan dilakukan pengujian kebulatan menggunakan dial indikator dan mesin bubut sebagai pencekam spesimen yang dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

3.1.5. Pengolahan Data

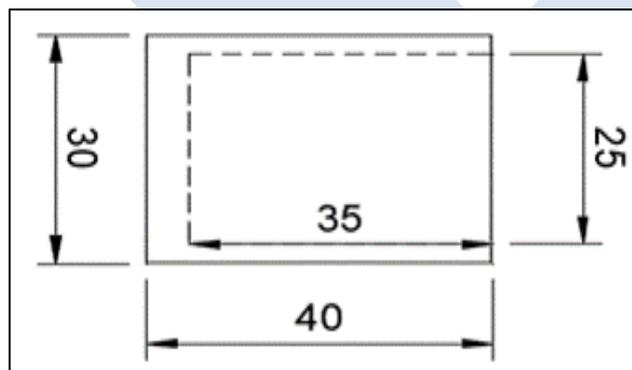
Setelah mendapat data hasil pengujian kebulatan langkah selanjutnya adalah memasukan data tersebut ke dalam *Software* Minitab untuk mengolah data tersebut, data yang sudah diolah akan di olah lagi menggunakan *microsoft excel* untuk mendapatkan parameter proses yang paling optimal.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pelaksanaan Eksperimen

Sebelum memulai proses pencetakan kita harus terlebih dahulu menentukan parameter proses pencetakan, dalam menentukan parameter proses ini kita harus mencari referensi dari berbagai sumber pada studi literatur dan melakukan beberapa percobaan hingga mendapatkan parameter proses yang akan digunakan dalam eksperimen. Setelah itu, langkah berikutnya adalah mendesain spesimen yang akan diuji kebulatannya menggunakan *software Autodesk Fusion 360°* dan diexport ke format STL, kemudian format STL dimasukkan ke dalam *software Ultimaker Cura 5.7.0*, dan diatur sesuai dengan parameter yang telah ditentukan lalu simpan file dalam bentuk *G-code*, *G-code* ini akan didetect oleh mesin 3D *printing* saat proses pencetakan spesimen Berikut Tahapan dalam melaksanakan eksperimen ini :

1. Mendesain Spesimen yang akan dipakai dalam pengujian, pada tahap ini menggunakan *software auto desk Fusion 360°* dan file di export dalam format STL. Desain Spesimen ditunjukkan pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Desain Spesimen

2. 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*.

3. 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 proses 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



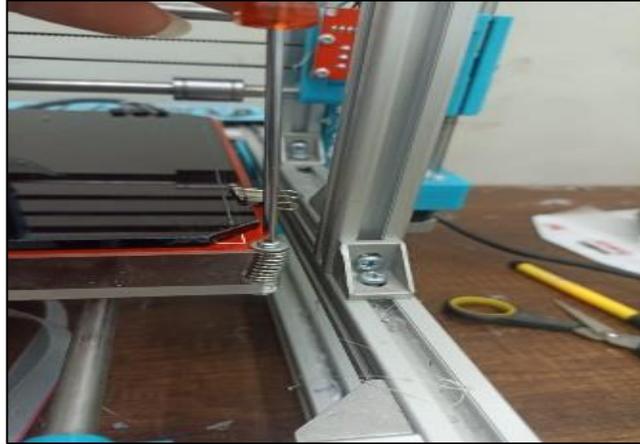
Gambar 4.2 Pemasangan *Filament*

- 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



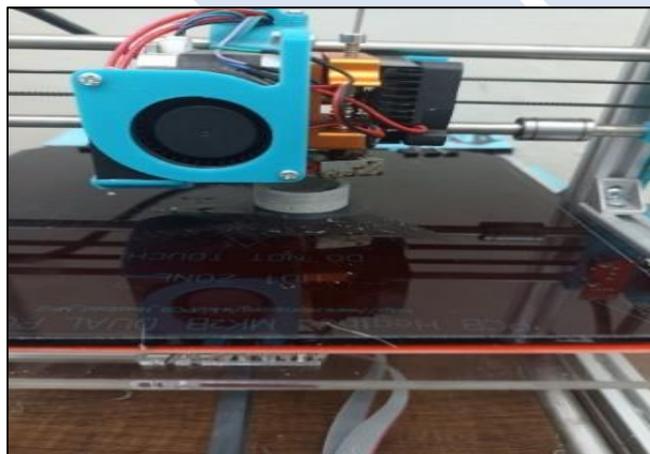
Gambar 4.5 Memasukan *Sandisk* Ke Mesin

- 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 Kebulatan yang ditunjukkan pada gambar 4.8.



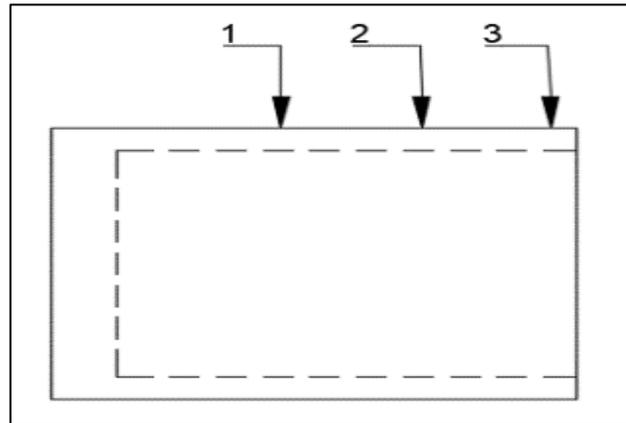
Gambar 4.8 Seluruh Spesimen

4.2. Pengambilan Data Hasil Eksperimen

Spesimen yang sudah dicetak akan di uji kebulatannya, untuk pengujian kebulatan dilakukan menggunakan Dial Indikator dengan ketelitian 0,1 mm dan menggunakan mesin bubut sebagai pencekam spesimen saat melakukan pengujian. Proses pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.9. dan titik pengujian ditunjukkan pada gambar 4.10



Gambar 4. 9 Proses Pengujian Kebulatan



Gambar 4.10 Titik Uji Spesimen

Setelah melakukan pengujian pada spesimen disetiap titik ujinya, hasil tersebut akan dicatat dan hasil pengujian pada spesimen disetiap titik akan ditampilkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Data Hasil Uji Kebulatan di Setiap Titik

Titik	Exp 1			Exp 2			Exp 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
1									
2									
3									

Tabel 4.1 Data hasil uji kebulatan di setiap titik (Lanjutan)

Titik	Exp 4			Exp 5			Exp 6		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
1									
2									
3									

Tabel 4.1 Data hasil uji kebulatan di setiap titik (Lanjutan)

Titik	Exp 7	Exp 8	Exp 9
NO	R1		
1	0,81		
2	1,14		
3	1,44		

Pada Tabel 4.1 menunjukkan data hasil pengujian kebulatan pada spesimen di setiap titik, untuk mendapatkan nilai hasil pada setiap titik harus dibagi dua, dan sesudah dibagi dua untuk mendapatkan nilai akhir pada setiap replikasi harus menghitung rata-rata pada ketiga titik, untuk hasil dari langkah ini ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Hasil Uji Kebulatan

No. Exp	R1(mm)	R2(mm)	R3(mm)	Rata-rata(mm)
1	0,285	0,353		
2	0,440	0,		
3	0,306	0,403		
4	0,268	0,078		
5	0,346	0,168		
6	0,175	0,190		
7	0,565	0,165		
8	0,071	0,113		
9	0,388	0,386		

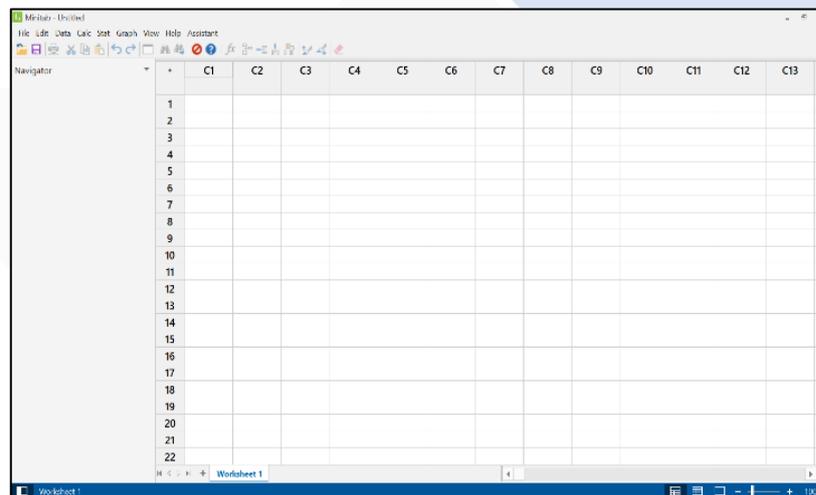
4.3. Pengolahan Data Hasil Eksperimen

Data hasil pengujian akan dikukan pengolahan data untuk memperoleh parameter proses yang berpengaruh dan paling optimal terhadap hasil uji kebulatan, pada

pengolahan data ini akan menggunakan *Software Minitab*, data hasil pengujian yang ada pada Tabel 4.1 di input ke dalam *software* minitab untuk mendapatkan hasil respon *Mean plot* dan *S/N Ratio* yang dimana Kebulatan dengan kualitas *smaller is better* dikarenakan jika nilai yang mendekati angka nol atau paling kecil adalah yang terbaik.

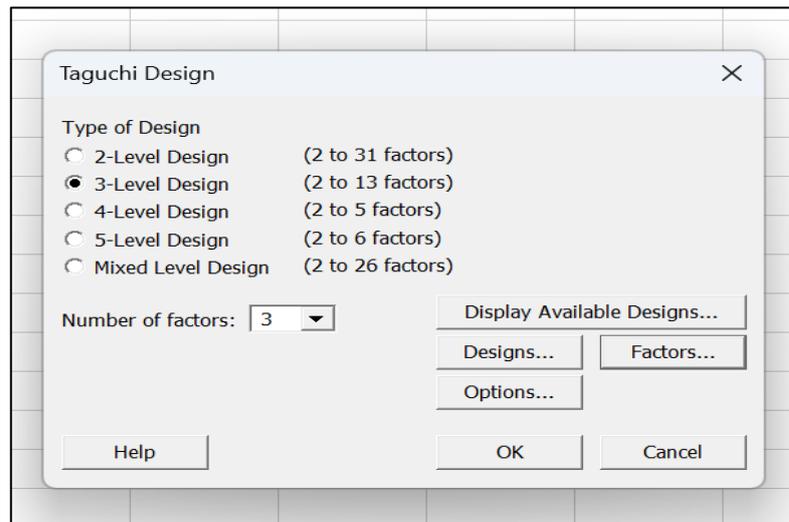
Berikut langkah-langkah analisis untuk menentukan *S/N ratio* menggunakan *software* Minitab:

1. Buka *Software Minitab*, tampilan awal akan memunculkan tampilan *Worksheet* seperti pada gambar 4.11



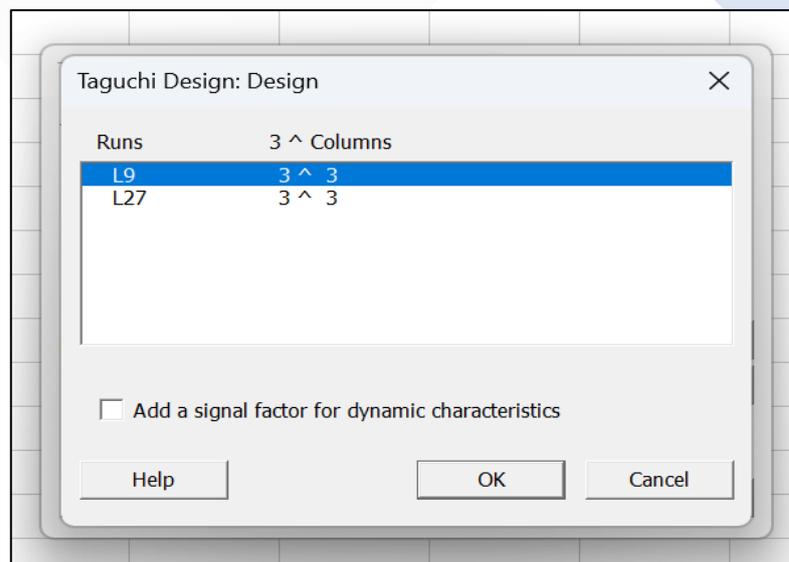
Gambar 4.11 Tampilan *Worksheet* pada *Minitab*

2. Selanjutnya langkah yang harus kita lakukan adalah pilih menu *STAT – DOE – TAGUCHI – CREATE TAGUCHI DESIGN*, setelah melakukan langkah tersebut maka akan muncul tampilan *Taguchi Design*, setelah muncul tampilan *Taguchi Design* tentukan *type of design* dan *number of factor* sesuai dengan yang telah ditentukan pada penelitian, yang pada menu yang ada pada tampilan *Taguchi Design* tersebut. Tampilan *Taguchi Design* yang sudah diatur sesuai parameter yang ditunjukkan pada gambar 4.12



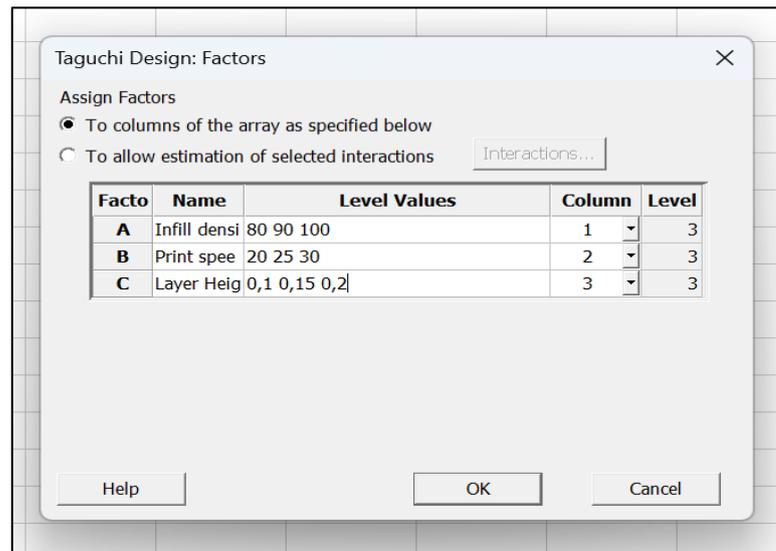
Gambar 4.12 Tampilan *Taguchi Design*

3. Pada tampilan *create design taguchi* pilih *Design*, dan pilih $L_9(3)$, seperti pada gambar 4.13



Gambar 4.13 Tampilan *Design*

4. Setelah menentukan *Design* klik *OK* dan akan kembali ke tampilan *create design taguchi*, pilih *Factors* lalu isi *name* dan *level values* sesuai parameter dan level yang ditentukan. Dapat dilihat pada gambar 4.14



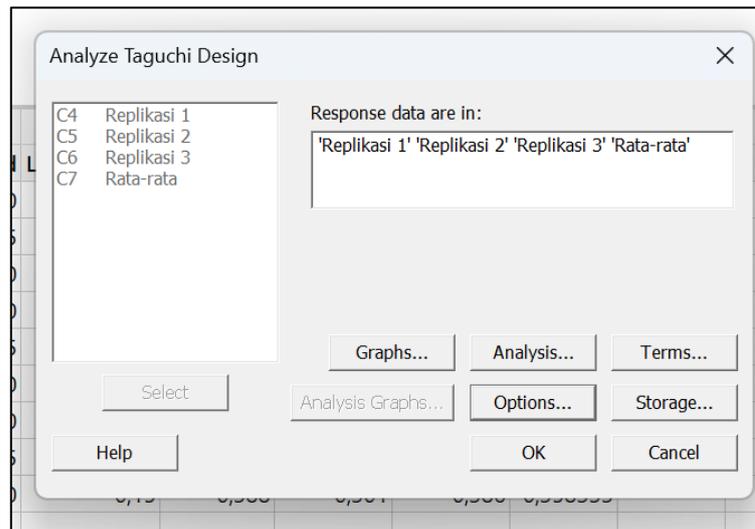
Gambar 4.14 Tampilan *Factors*

- Setelah itu klik OK dan akan memunculkan data pengacakan yang Merupakan Desain factorial L9 yang sudah diatur oleh *Minitab*, yang ditunjukkan seperti yang ada pada Gambar 4.15

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	Infill density	Print speed	Layer Height						
1	80	20	0,10						
2	80	25	0,15						
3	80	30	0,20						
4	90	20	0,15						
5	90	25	0,20						
6	90	30	0,10						
7	100	20	0,20						
8	100	25	0,10						
9	100	30	0,15						
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									

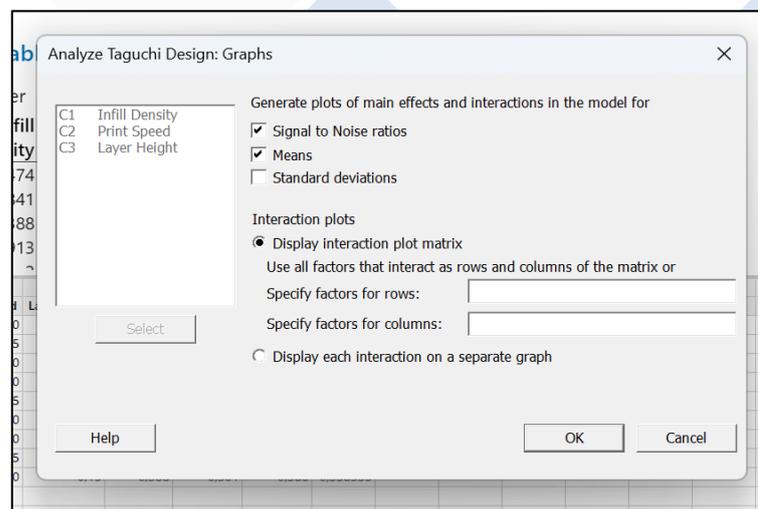
Gambar 4.15 Tampilan *Worksheet* Desain *Factorial* L9

- Langkah selanjutnya menganalisis, pilih menu *STAT – DOE – ANALYZE TAGUCHI DESIGN* dan akan muncul tampilan seperti yang ada pada Gambar 4.16 lalu pilih respon Replikasi 1, Replikasi 2, Replikasi 3 dan rata-rata lalu klik *Select*.



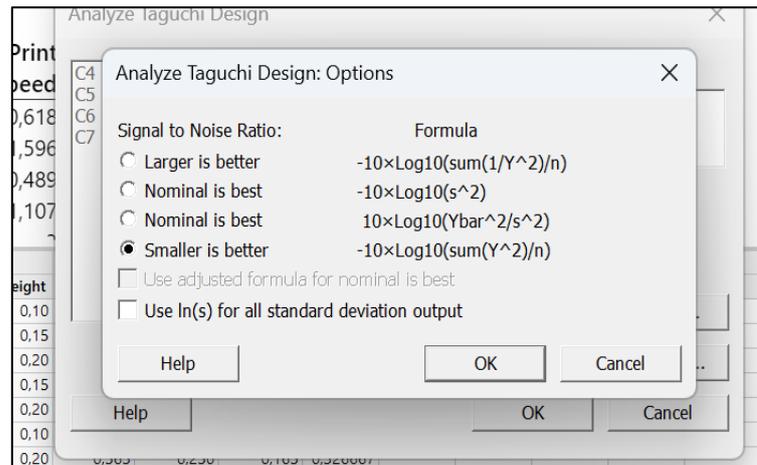
Gambar 4.16 Tampilan *Analyze Taguchi Design*

7. Akan muncul tampilan *Graphs*, pada menu ini klik kolom kosong yang ada di sebelah kiri *Signal to Noise Ratios* dan *Means* hingga muncul tanda centang, setelah itu klik OK. Tampilan ini akan di tampilkan pada gambar 4.17



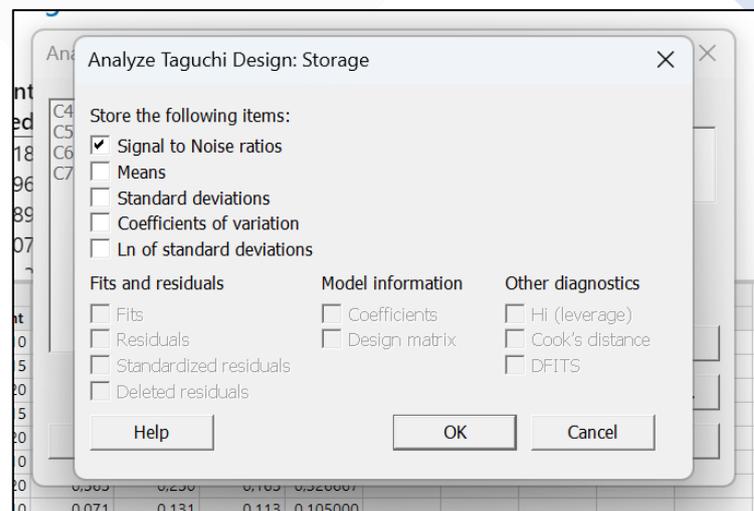
Gambar 4.17 Tampilan Menu *Graphs*

8. Selanjutnya, pilih *Options* pada menu *options* ini pilih *Signal to Noise Ratio: Smaller is Better* lalu klik OK. Yang ditampilkan pada gambar 4.18



Gambar 4.18 Tampilan Menu *Options*

9. Setelah klik ok pada menu options akan muncul menu storage, pada menu ini pilih Signal to Noise Ratios untuk memunculkan nilai S/N Ratio pada data hasil. Yang ditampilkan pada gambar 4.19



Gambar 4.19 Tampilan Menu *Storage*

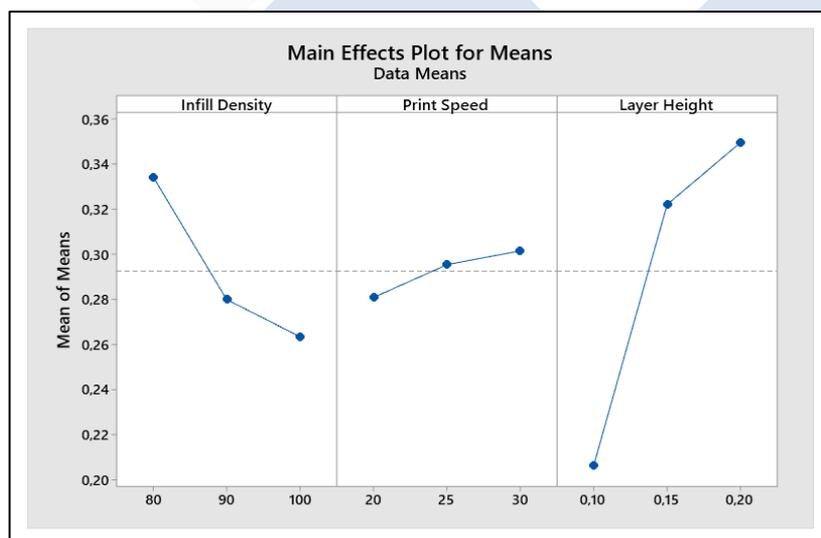
10. Apabila semua langkah-langkah sudah dilakukan dengan benar maka akan menghasilkan data *S/N Ratio* pada *Minitab*, data hasil *Minitab* akan ditunjukkan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Nilai S/N Ratio Untuk Kebulatan Spesimen

No EXP	R1(mm)	R2(mm)	R3(mm)	Rata-rata(mm)	SNRA1
1	0,285				
2	0,440				
3	0,306				
4	0,268				
5	0,346				
6	0,175				
7	0,565				
8	0,071				
9	0,388				

Pada Tabel 4.3 menunjukkan hasil nilai *S/N Ratio* menggunakan *software* minitab L₉ pada uji kebulatan spesimen dengan karakter *Smaller is Better*.

Main Effects Plot For Means dan *Response Table For Means* terhadap kebulatan produk ditunjukkan pada gambar 4.20 dan tabel 4.4



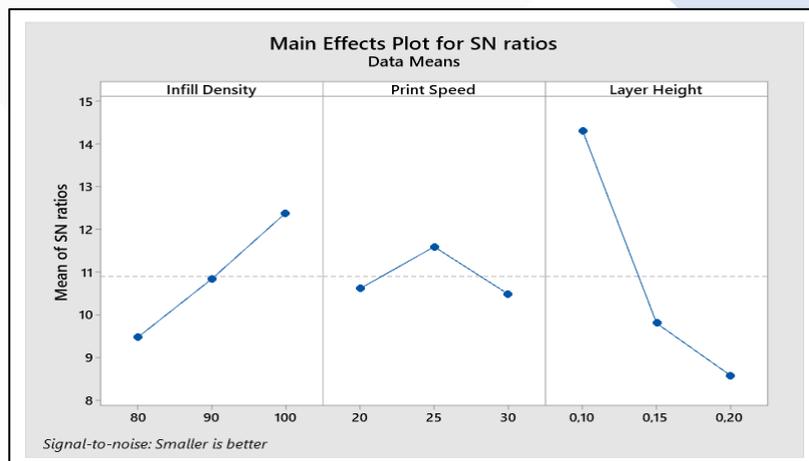
Gambar 4.20 Grafik *Main Effects Plot for Means*

Tabel 4.4 *Response Table for Means*

<i>Level</i>	<i>Infill Density</i>	<i>Print Speed</i>	<i>Layer Height</i>
1	0,3343	0,2808	0,2060
2	0,2799	0,2953	0,3220
3	0,2633	0,3014	0,3496
Delta	0,0710	0,0207	0,1436
Rank	2	3	1

Pada Gambar 4.20 dan Tabel 4.4 menyajikan rata-rata respons untuk setiap tingkat faktor yang diuji dalam eksperimen.

SN Ratios yang menunjukkan faktor yang paling berpengaruh pada penelitian ini ditampilkan pada gambar 4.21 dan tabel 4.5



Gambar 4.21 Grafik *Main Effects Plot for SN Ratio*

Tabel 4.5 *Response Table for Signal to Noise Ratio*

<i>Level</i>	<i>Infill Density</i>	<i>Print Speed</i>	<i>Layer Height</i>
1	9,474		
2	10,841		
3	12,388		
Delta	2,913		
Rank	2		

Pada Gambar 4.21 dan Tabel 4.5 menunjukkan faktor dengan pengaruh terbesar adalah *Layer Height* dan parameter yang paling optimal adalah dengan *Layer Height* (0,10 mm), *Infill Density* (100%), dan *Print Speed* (25 mm/s)

4.4. Perhitungan Rasio S/N

Perhitungan Rasio S/N adalah perhitungan untuk memilih faktor kebulatan yang memberikan data ke dalam suatu nilai ukuran variasi yang timbul. Dalam perhitungan ini karakteristik kualitas S/N yang digunakan adalah *Smaller is Better*.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \dots \dots \dots (4.1)$$

Yakni:

n = Jumlah Pengulangan yang dilakukan

y = data dari hasil uji coba

Berikut ini hasil perhitungan S/N berdasarkan rumus :

Eksperimen 1 :

$$S/N = - 10 \log_{10} \left(\frac{1}{3} (0,285^2 + 0,240^2 + 0,353^2) \right) = 10,56$$

Eksperimen 2 :

$$S/N = - 10 \log_{10} \left(\frac{1}{3} (0,440^2 + 0,283^2 + 0,431^2) \right) = 8,14$$

Eksperimen 3 :

$$S/N = - 10 \log_{10} \left(\frac{1}{3} (0,306^2 + 0,268^2 + 0,403^2) \right) = 9,61$$

Eksperimen 4 :

$$S/N = - 10 \log_{10} \left(\frac{1}{3} (0,268^2 + 0,323^2 + 0,078^2) \right) = 12,16$$

Eksperimen 5 :

$$S/N = - 10 \log_{10} \left(\frac{1}{3} (0,346^2 + 0,675^2 + 0,168^2) \right) = 6,96$$

Eksperimen 6 :

$$S/N = - 10\log_{10} \left(\frac{1}{3} (0,175^2 + 0,296^2 + 0,190^2) \right) = 12,88$$

Eksperimen 7 :

$$S/N = - 10\log_{10} \left(\frac{1}{3} (0,565^2 + 0,250^2 + 0,165^2) \right) = 8,65$$

Eksperimen 8 :

$$S/N = - 10\log_{10} \left(\frac{1}{3} (0,071^2 + 0,131^2 + 0,113^2) \right) = 19,33$$

Eksperimen 9:

$$S/N = - 10\log_{10} \left(\frac{1}{3} (0,388^2 + 0,301^2 + 0,386^2) \right) = 8,85$$

Hasil perhitungan SN menggunakan software Minitab ditunjukkan pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Perhitungan Nilai S/N Ratio dengan Minitab

No EXP	R1(mm)	R2(mm)	R3(mm)	Rata-rata(mm)	SNRA1
1				10,5645	
2				8,1488	
3				9,6142	
4			8	12,1648	
5				6,9640	
6	0,	0,	0,	12,8864	
7	0,	,250	0,	8,6545	
8	0,	0,	0,113	19,3341	
9	0,	0,	0,386	8,8590	

4.5. Persen Kontribusi

Kontribusi yang didapatkan pada ANOVA dipenelitian ini ditunjukkan pada tabel 4.7

Tabel 4.7 *Analysis of Variance*

<i>Source</i>	DF	Adj SS	Adj MS	<i>F-Value</i>	<i>P-Value</i>
<i>Infill Density</i>	2				
<i>Print Speed</i>	2	1,051			
<i>Layer Height</i>	2	28,272			
<i>Error</i>	2				
Total	8				

4.6. Uji Konfirmasi

Untuk memverifikasi data yang telah dikumpulkan selama penelitian, dilakukan uji konfirmasi. Uji konfirmasi ini menggunakan parameter yang memiliki dampak paling signifikan terhadap hasil optimal penelitian, dengan cara membandingkan rata-rata hasil pengujian konfirmasi dengan nilai optimal yang diperoleh. Dari data yang ada pada table 4.5, kita dapat melihat bahwa nilai SNRA1 tertinggi adalah pada percobaan nomor 8 dengan nilai SNRA1 sebesar 19,3341. Oleh karena itu, kita akan menggunakan rata-rata dari percobaan nomor 8 sebagai nilai optimum untuk uji konfirmasi.yang ditunjukkan pada tabel 4.8

Tabel 4.8 Perbandingan Parameter 1 dengan Parameter Optimum

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil dari uji kebulatan pada spesimen didapatkan parameter paling optimum adalah dengan *Layer Height* (0,1mm), *Infill Density* (100%), dan *Print Speed* (25mm/s) dengan nilai rata rata uji 0,10500 dan nilai S/N tertinggi yaitu 19,3341.
2. Hasil dari uji kebulatan dengan faktor yang berpengaruh terhadap filamen jenis PETG paling optimal berturut-turut yaitu: *Layer Height*, *Infill Density*, *Print Speed*.

5.2. Saran

Dari hasil penelitian, penulis memiliki saran sebagai berikut:

1. Untuk memperluas penelitian ini lebih lanjut, disarankan agar menggunakan metode lain selain Taguchi.
2. Gunakan lebih banyak faktor untuk mengidentifikasi faktor mana yang memiliki potensi terbesar dalam mempengaruhi respons dan output berbeda dari penelitian ini
3. Gunakan berbagai mesin untuk mengungkap fenomena baru terkait dengan cara faktor-faktor tersebut mempengaruhi respon yang diuji.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Christiliana, dkk, "Optimasi Proses pada 3D Printing FDM terhadap Akurasi Dimensi Filament PLA Food Grade," *Sungailiat: Manutech*, 2021.
- [2] Pristiansyah, dkk, "Optimasi parameter proses 3D printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex," *Sungailiat: Manutech*, 2019.
- [3] M. Yanis, "Analisis Profil Kebulatan Untuk Menentukan Kesalahan Geometrik pada Pembuatan Komponen Menggunakan Mesin Bubut," *Ogan Ilir: media neliti*, 2010.
- [4] M. Lestari, dkk, "Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Terhadap Akurasi Dimensi," *Sungailiat*, 2022.
- [5] B. Aji, dkk, "Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Filament PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)," *Sungailiat: Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 2023.
- [6] Rosalina, dkk, "Pengaruh parameter proses pada pencetakan 3D Printing terhadap akurasi dimensi filamen PETG menggunakan metode Taguchi," *Sungailiat: Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 2024.
- [7] W. R. Saputra, dkk, "Pengaruh parameter proses terhadap kekuatan tarik produk hasil 3D printing menggunakan filament asa," *Sungailiat: Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 2023.
- [8] S. I, "Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi," vol. 1, p. 1, 2009.
- [9] P. Sidi, dkk, "Aplikasi Metode Taguchi untuk mengetahui optimasi kebulatan pada proses bubut cnc," *Surabaya*, 2013.
- [10] J. E., dkk, "Pengaplikasian Pengolah Data Pengukuran Kebulatan (Roundness) Pada Alat Ukur (Roundness Tester Machine) Di Laboratorium Pengukuran Teknik Mesin Universitas Riau," *Pekanbaru*, 2019.
- [11] G. P., dkk, "Nozzle temperature calibration in 3D printing," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 2023.

- [12] Z. S. Suzen, dkk, "Pengaruh Tipe Infill Dan Temperatur Nozzle Terhadap Kekuatan Tarik Produk 3D Printing Filamen Pla+ Esun," *Sungailiat: Manutech*, 2020.
- [13] T. C. Persada, dkk, "Pengaruh parameter proses 3D Printer teknologi digital," Palembang, 2020.
- [14] D. Andriayansyah, dkk, "Evaluasi akurasi dimensi pada objek hasil 3D Printing," *Surakarta*, 2021.
- [15] Hasdiansah, dkk, "Optimasi parameter proses terhadap akurasi dimensi Pla food grade menggunakan metode taguchi," *Semarang*, 2020.





LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Data Pribadi

Nama lengkap : Wahyudi
Tempat & tanggal lahir : Batam, 24 Maret 2003
Alamat rumah : Jl. Kuto Panji Belinyu
Telp: 0823 1237 5922
Hp: 0823 1237 5922
Email: wahyudirajaguk@gmail.com
Jenis kelamin : Laki – laki
Agama : Kristen



2. Riwayat Pendidikan

SD Negeri 10 Belinyu	Tahun 2009 – 2015
SMP Negeri 2 Belinyu	Tahun 2015 – 2018
SMK YPN Belinyu	Tahun 2018 – 2021

Sungailiat, 24 Juli 2024

Wahyudi