

**Optimasi Parameter Proses pada 3D Printing FDM  
terhadap Akurasi Dimensi Filament  
PLA Food Grade**

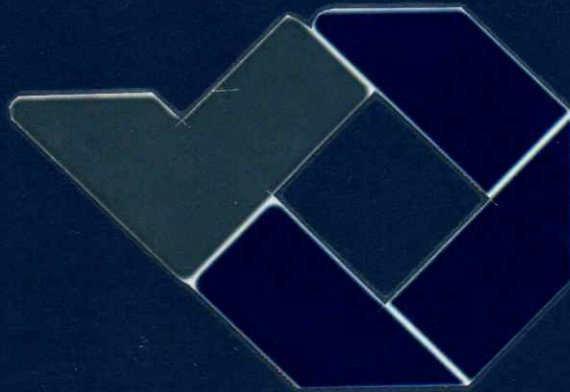
*Optimization of Process Parameters 3D Printing for Dimensional accuracy of  
PLA Food Grade Filaments*

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat menyelesaikan pendidikan  
Diploma IV Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur  
Di Jurusan Teknik Mesin

Oleh :

**Malinda Christliana**

**NPM : 1041718**



**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI  
BANGKA BELITUNG  
TAHUN 2021**

**Optimasi Parameter Proses pada 3D *Printing* FDM  
terhadap Akurasi Dimensi *Filament*  
PLA *Food Grade***

*Optimization of Process Parameters 3D Printing for Dimensional Accuracy of  
PLA Food Grade Filaments*

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat menyelesaikan pendidikan  
Diploma IV Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur  
Di Jurusan Teknik Mesin

**Oleh :**

**Malinda Christiliana**

**NPM : 1041718**



**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI  
BANGKA BELITUNG  
TAHUN 2021**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**Optimasi Parameter Proses pada 3D Printing FDM  
terhadap Akurasi Dimensi *Filament*  
PLA Food Grade**

Penulis :

Malinda Christiliana

NPM : 1041718

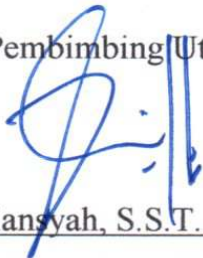
Penguji :

1. Ketua : Pristiansyah, S.S.T., M.Eng
2. Anggota : Erwanto, S.S.T., M.T
3. Anggota : Yuliyanto, S.S.T., M.T



Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal 22 Februari 2021  
Dan disahkan sesuai dengan ketentuan

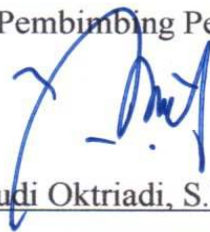
Pembimbing Utama,



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

NIP. 198801242019031008

Pembimbing Pendamping,



Yudi Oktriadi, S.Tr., M.Eng

NIP. 198611132019031007

Ketua Jurusan,



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

NIP. 198801242019031008

## ABSTRAK

3D *printing* adalah teknologi proses manufaktur yang banyak dikembangkan untuk membuat sebuah prototipe cepat sesuai dengan desain yang diinginkan, salah satunya yaitu teknologi FDM (*Fused Deposition Modelling*). Jenis *filament* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *filament* PLA *food grade*. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter optimal bagi mesin 3D *printing* FDM dalam hal akurasi dimensi.

Metode yang digunakan dalam penelitian optimasi parameter proses ini yaitu metode *Taguchi* L<sub>27</sub> OA. Parameter proses yang digunakan yaitu *nozzle temperature*, *layer thickness*, *print speed*, *infill rate*, dan *temperature based plate*.

Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai parameter proses optimal untuk akurasi dimensi diameter luar spesimen adalah *nozzle temperature* (190°C), *layer thickness* (0,15mm), *print speed* (45mm/s), *infill rate* (12%), dan *temperature based plate* (45°C) dengan nilai uji 29,98mm. Tinggi spesimen yaitu *nozzle temperature* (185°C), *layer thickness* (0,20mm), *print speed* (40mm/s), *infill rate* (8%), dan *temperature based plate* (40°C) dengan nilai uji 39,85mm. Sedangkan untuk diameter luar dan tinggi spesimen yaitu *nozzle temperature* (185°C), *layer thickness* (0,20mm), *print speed* (40mm/s), *infill rate* (12%), dan *temperature based plate* (40°C) dengan nilai uji 34,87mm.

Kata kunci : 3D *printing*, FDM, PLA, parameter, akurasi, dimensi

## **ABSTRACT**

*3D printing is manufacturing process technology that is widely developed to make a rapid prototype according to the desired design, one of which is FDM (Fused Deposition Modeling) technology. The type of filament used in this study was filament PLA food grade. This study aims to obtain optimal parameters for FDM 3D printing machines in terms of dimensional accuracy.*

*The method used in this process parameter optimization research is the Taguchi L27 OA method. The process parameters used are nozzle temperature, layer thickness, print speed, infill rate, and temperature based plate.*

*The results of research that have been conducted show the optimal process parameter values for dimensional accuracy of the outer diameter specimen are nozzle temperature (190°C), layer thickness (0,15mm), print speed (45mm/s), infill rate (12%), and temperature based plate (45°C) with test value of 29,98mm. The specimen height was nozzle temperature (185°C), layer thickness (0,20mm), print speed (40mm/s), infill rate (8%), and temperature based plate (40°C) with test value of 39,85mm. As for the outer diameter and height specimen, namely nozzle temperature (185°C), layer thickness (0,20mm), print speed (40mm/s), infill rate (12%), and temperature based plate (40°C) with test values 34,87mm.*

*Key words : 3D printing, FDM, PLA, parameter, accuracy, dimension*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Optimasi Parameter Proses pada 3D *Printing* FDM terhadap Akurasi Dimensi *Filament* PLA *Food Grade*”. Penulisan tugas akhir ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Diploma IV di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis sadar bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak penulis tidak akan bisa menyelesaikan tugas akhir ini. Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua Orang Tua, kakak serta adik penulis yang selalu memberikan doa dan dukungannya selama penulis melaksanakan tugas akhir ini.
2. Bapak I Made Andik Setiawan, M. Eng., Ph.D., selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
3. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng, selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin serta pembimbing utama penulis yang telah menentukan, menyetujui serta telah banyak memberikan konsep pemikiran tentang pelaksanaan tugas akhir ini.
4. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T., selaku Kepala Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur.
5. Bapak Yudi Oktriadi, S.Tr., M.Eng, selaku pembimbing kedua yang telah memberikan ide-idenya.
6. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu dalam pelaksanaan tugas akhir ini.
7. Rekan-rekan Kelas A Teknik Mesin dan Manufaktur Angkatan 24 yang selalu mendukung dan membantu baik moral maupun materi.
8. Sahabat, teman serta sanak saudara yang telah mendoakan dan mendukung penulis yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Semoga tugas

akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung pada masa yang akan datang. Aamiin.

Sungailiat, Februari 2021

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized initials and a surname, positioned above the word 'Penulis'.

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	I-1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	I-1
1.2 Perumusan Masalah .....	I-3
1.3 Tujuan Penelitian .....	I-3
1.4 Batasan Masalah .....	I-3
1.5 Sistematika Pelaporan .....	I-4
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b> .....	II-1
2.1 Landasan Teori .....	II-1
2.1.1 <i>3D Printing</i> .....	II-1
2.1.1.1 Pengertian <i>3D Printing</i> .....	II-1
2.1.1.2 Cara Kerja <i>3D Printing</i> .....	II-2
2.1.1.3 Manfaat <i>3D Printing</i> .....	II-2
2.1.2 Parameter Proses .....	II-3
2.1.3 <i>Fused Deposition Modelling (FDM)</i> .....	II-3
2.1.4 <i>Polylactic Acid (PLA)</i> .....	II-4
2.1.5 Metode <i>Taguchi</i> .....	II-5
2.1.6 <i>Design of Experiment (DOE)</i> .....	II-6
2.1.7 Uji Konfirmasi .....	II-8
<b>BAB III METODE PELAKSANAAN</b> .....	III-1
3.1 Diagram Alir .....	III-1



3.2	Studi Literatur.....	III-2
3.3	Penentuan Parameter Proses.....	III-2
3.3.1	<i>Design of Experiment</i> (DOE).....	III-2
3.3.2	Penentuan Faktor dan Level Eksperimen.....	III-2
3.3.3	Variabel Respon.....	III-3
3.3.4	Desain Faktorial.....	III-3
3.4	Persiapan Alat dan Bahan Penelitian.....	III-4
3.4.1	Alat Penelitian.....	III-4
3.4.2	Bahan Penelitian.....	III-6
3.4.3	Objek Penelitian.....	III-6
3.5	Proses Pencetakan.....	III-7
3.6	Pengukuran Dimensi Spesimen.....	III-9
3.7	Data yang Diperoleh.....	III-10
3.8	Pengolahan Data.....	III-10
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>IV-1</b>
4.1	Pengambilan Data Hasil Percobaan.....	IV-1
4.2	Pengolahan Data Hasil Eksperimen.....	IV-7
4.2.1	<i>Mean Plot</i> dan <i>S/N Ratio “Larger is Better”</i> Diameter Luar Spesimen.....	IV-8
4.2.2	<i>Mean Plot</i> dan <i>S/N Ratio “Larger is Better”</i> Tinggi Spesimen.....	IV-10
4.2.3	<i>Mean Plot</i> dan <i>S/N Ratio “Larger is Better”</i> Diameter Luar dan Tinggi Spesimen.....	IV-12
4.3	Uji Konfirmasi.....	IV-14
4.4	Pembahasan.....	IV-16
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>		<b>V-1</b>
5.1	Kesimpulan.....	V-1
5.2	Saran.....	V-1
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>xii</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi <i>Filament</i> PLA .....	II-5
Tabel 3.1 Nilai Level dan Parameter Proses yang Diuji .....	III-2
Tabel 3.2 Desain Faktorial L <sub>27</sub> OA .....	III-3
Tabel 4.1 Desain Faktorial Penelitian L <sub>27</sub> OA .....	IV-1
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Diameter Luar Spesimen .....	IV-4
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Tinggi Spesimen .....	IV-5
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Diameter Luar dan Tinggi Spesimen.....	IV-6
Tabel 4.5 Hasil <i>Mean Plot</i> Diameter Luar Spesimen .....	IV-8
Tabel 4.6 <i>S/N Ratio</i> Diameter Luar Spesimen.....	IV-9
Tabel 4.7 Hasil <i>Mean Plot</i> Tinggi Spesimen .....	IV-10
Tabel 4.8 <i>S/N Ratio</i> Tinggi Spesimen .....	IV-11
Tabel 4.9 Hasil <i>Mean Plot</i> Diameter Luar dan Tinggi Spesimen.....	IV-12
Tabel 4.10 <i>S/N Ratio</i> Diameter Luar dan Tinggi Spesimen .....	IV-13
Tabel 4.11 Hasil Uji Konfirmasi Diameter Luar Spesimen.....	IV-14
Tabel 4.12 Hasil Uji Konfirmasi Tinggi Spesimen.....	IV-15
Tabel 4.13 Hasil Uji Konfirmasi Diameter Luar dan Tinggi Spesimen .....	IV-15
Tabel 4.14 Parameter Proses Optimal Diameter Luar .....	IV-16
Tabel 4.15 Parameter Proses Optimal Tinggi .....	IV-16
Tabel 4.16 Parameter Proses Optimal Diameter Luar dan Tinggi.....	IV-16

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Ilustrasi 3D <i>printing</i> beserta komponen .....	II-1
Gambar 2.2 Ilustrasi Proses FDM .....	II-4
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	III-1
Gambar 3.2 Mesin 3D <i>Printing</i> FDM .....	III-5
Gambar 3.3 Laptop .....	III-5
Gambar 3.4 Jangka Sorong Digital .....	III-6
Gambar 3.5 PLA <i>food grade</i> .....	III-6
Gambar 3.6 Dimensi dan Bentuk Spesimen Uji .....	III-7
Gambar 3.7 Proses <i>Slicing</i> .....	III-7
Gambar 3.8 Kartu Memori .....	III-8
Gambar 3.9 <i>Setting Bed</i> mesin 3D <i>printing</i> .....	III-8
Gambar 3.10 <i>Setting Temperature Nozzle</i> dan <i>Bed</i> .....	III-8
Gambar 3.11 Posisi Pengukuran Dimensi Spesimen Diameter Luar .....	III-9
Gambar 3.12 Posisi Pengukuran Dimensi Spesimen Tinggi .....	III-9
Gambar 4.1 Proses Pencetakan Spesimen .....	IV-2
Gambar 4.2 Spesimen Hasil Pencetakan .....	IV-3
Gambar 4.3 Proses Pengukuran Diameter Luar Spesimen .....	IV-3
Gambar 4.4 Proses Pengukuran Tinggi Spesimen .....	IV-4
Gambar 4.5 Grafik <i>Mean Plot</i> Diameter Luar Spesimen .....	IV-8
Gambar 4.6 Grafik <i>S/N Ratio</i> Diameter Luar Spesimen .....	IV-9
Gambar 4.7 Grafik <i>Mean Plot</i> Tinggi Spesimen .....	IV-10
Gambar 4.8 Grafik <i>S/N Ratio</i> Tinggi Spesimen .....	IV-11
Gambar 4.9 Grafik <i>Mean Plot</i> Diameter Luar dan Tinggi Spesimen .....	IV-12
Gambar 4.10 Grafik <i>S/N Ratio</i> Diameter Luar dan Tinggi Spesimen .....	IV-13
Gambar 4.11 Spesimen Uji Konfirmasi Diameter Luar .....	IV-14
Gambar 4.12 Spesimen Uji Konfirmasi Tinggi .....	IV-15
Gambar 4.13 Spesimen Uji Konfirmasi Diameter Luar .....	IV-15

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup
- Lampiran 2 Tabel Hasil Pengukuran Dimensi Spesimen
- Lampiran 3 Perhitungan *SN Ratio Large the Better* Secara Rumus
- Lampiran 4 Proses Pengukuran Dimensi Spesimen

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Proses manufaktur sepanjang 50 tahun terakhir telah menyebabkan kemajuan yang pesat dan berkesinambungan dalam industri manufaktur (Lauwers et al, 2014), salah satu proses manufaktur yang mengalami kemajuan yang pesat yaitu teknologi *3D printing*. Hadirnya teknologi *3D printing* dalam dunia manufaktur membawa perubahan besar pada dunia, terutama di kalangan industri (Attaran, 2017).

Semakin ketatnya persaingan dalam industri hal yang paling diperhatikan yaitu efisiensi proses serta ketepatan atau akurasi dimensi suatu produk. Untuk mendapatkan produk yang berkualitas hal tersebut memberikan pengaruh yang sangat signifikan. Sebelum membuat sebuah produk jadi, prototipe produk harus dibuat terlebih dahulu untuk mengetahui bentuk dan dimensinya. Pembuatan prototipe yang cepat menggunakan mesin pencetak tiga dimensi (Lubis dkk, 2016).

Salah satu penerapan dari *3D printing* yaitu dengan membuat produk siap pakai. Proses pembuatan produk menggunakan *3D printing* ini masih memiliki kekurangan dalam segi keakurasian dimensinya. Produk yang dihasilkan dari pencetakan *3D printing* ini mengalami pengurangan atau penambahan ukuran sehingga belum sesuai dengan desain yang diinginkan (Hasdiansah dkk, 2020).

Teknologi *3D printing* yang banyak digunakan yaitu *Fused Deposition Modelling* (FDM). Keunggulan dari teknologi ini adalah ketersediaan bahan yang baik, mudah mengganti *filament*, biaya perawatan rendah, tidak diperlukannya pengawasan, serta pengoperasian dengan suhu yang rendah (Galantucci et al, 2015). Dalam proses FDM, beberapa parameter proses mempengaruhi sifat mekanik bagian yang diproduksi. FDM juga merupakan proses dimana *filament* termoplastik dilelehkan, diekstrusi dan disimpan (Gebisa0F dan Lemu, 2019). Salah satu *filament* yang sering digunakan yaitu *polylactic acid* (PLA).

*Polylactic Acid* (PLA) merupakan bahan yang sering digunakan dalam pencetakan 3D *printing* karena mudah dicetak, murah dan membuat bagian untuk berbagai aplikasi. PLA berasal dari tanaman seperti jagung dan tebu, sehingga dapat diperbarui dan terurai. Maka dari itu, PLA merupakan salah satu *filament* yang ramah lingkungan. Beberapa keuntungan penggunaan PLA yaitu biaya rendah, kuat, umur simpan yang baik dan akurasi dimensi yang baik (Simplify3D, 2013).

Akurasi dimensi produk dipengaruhi oleh parameter proses pencetakan, dimana setiap parameter proses akan memberikan pengaruh tersendiri pada produk yang akan dicetak. Berbagai variasi parameter proses pencetakan telah diteliti. Beberapa peneliti menggunakan tiga sampai enam parameter proses pencetakan. Dalam penelitian (Aslani et al, 2020) menggunakan parameter proses untuk *filament* PLA yaitu *number of shells* (2 dan 3), *printing temperature* (210°C, 220°C, 230°C), *infill rate* (10%, 15%, 20%) dan *printing pattern* (diamond fill, hexagonal, linear). (Pristiansyah dkk, 2019) menggunakan parameter proses untuk *filament* Eflex yaitu *flowrate* (110%, 120%, 130%), *layer thickness* (0.10mm, 0.20mm, 0.30mm), *nozzle temperature* (210°C, 220°C, 230°C), *print speed* (20mm/s, 30mm/s, 40mm/s), *overlap* (25%, 50%, 75%) dan *fan speed* (0%, 50%, 100%). Serta (Prakasa dkk, 2018) dalam penelitiannya menggunakan parameter proses untuk *filament* PLA yaitu *heater block* (190°C, 200°C, 210°C), *heatbed* (60°C, 70°C, 80°C), *print speed* (40mm/s, 50mm/s, 60mm/s) dan *flowrate* ( 5.65mm<sup>3</sup>/s, 6.28mm<sup>3</sup>/s, 6.90mm<sup>3</sup>/s). Variasi dari beberapa parameter proses dengan nilai yang berbeda tersebut akan mempengaruhi hasil akhir sebuah produk.

Dalam penelitian-penelitian tersebut untuk mengoptimalkan parameter proses pencetakan digunakan metode Taguchi. Dimana peneliti (Aslani et al, 2020) menggunakan metode Taguchi OA L<sub>9</sub>, (Pristiansyah dkk, 2019) menggunakan metode Taguchi OA L<sub>27</sub> dan (Prakasa dkk, 2018) menggunakan metode Taguchi OA L<sub>9</sub>. Metode ini digunakan untuk menentukan jumlah eksperimen yang akan dilakukan dalam penelitian, semakin banyak jumlah eksperimen yang dilakukan maka hasil yang didapatkan akan semakin akurat.

Berdasarkan uraian diatas, penulis tertarik melakukan penelitian untuk mengoptimalkan parameter proses 3D *printing* FDM dengan lima variasi parameter proses dengan metode Taguchi L<sub>27</sub> OA untuk mencetak produk menggunakan *filament* PLA *food grade* dalam hal akurasi dimensi.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas maka rumusan masalah penelitian ini adalah:

Bagaimana mendapatkan nilai optimal parameter proses mesin 3D *printing* FDM untuk mencetak produk menggunakan *filament* PLA *food grade*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mendapatkan parameter proses yang optimal bagi mesin 3D *printing* FDM dalam hal akurasi dimensi dengan menggunakan *filament* PLA *food grade*.

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Jenis mesin 3D *printing* yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin 3D *printing* FDM DIY XYZ A1 180 × 180 × 180.
- b. Parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *nozzle temperature*, *layer thickness*, *print speed*, *infill rate*, dan *temperature based plate*.
- c. *Filament* yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah *filament* PLA *food grade*.
- d. Subjek dalam penelitian ini adalah akurasi dimensi (diameter luar, tinggi serta diameter luar dan tinggi) menggunakan *filament* PLA *food grade*.

## **1.5 Sistematika Pelaporan**

Dalam penulisan laporan tugas akhir ini sistematika pelaporannya sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Dalam bab ini menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika pelaporan.

### **BAB II LANDASAN TEORI**

Pada bab ini menjelaskan tentang landasan teori yang berhubungan dengan tema yang diambil.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Pada bab ini menjelaskan tentang metode, diagram alir dan tahapan yang dilaksanakan dalam proses penelitian.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam bab ini menjelaskan tentang hasil penelitian dan analisa hasil penelitian dalam penentuan parameter optimal yang telah dilakukan.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Dalam bab ini menjelaskan tentang kesimpulan yang didapat dalam melakukan penelitian serta saran yang diharapkan dapat bermanfaat bagi penelitian lebih lanjut.



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Landasan Teori

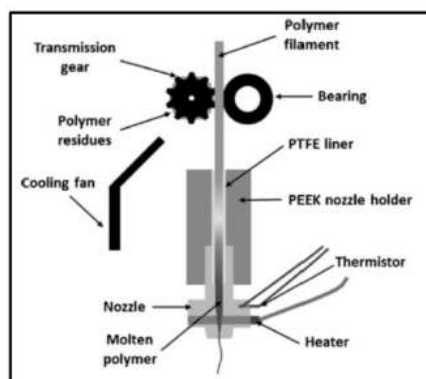
##### 2.1.1 3D Printing

###### 2.1.1.1 Pengertian 3D Printing

3D *printing* disebut juga sebagai *additive manufacturing* (AM), *rapid prototyping* (RP), atau *solid-freeform* (SFF). 3D *printing* atau *additive manufacturing* merupakan proses penambahan lapisan *filament* untuk membuat model 3D. Teknologi 3D *printing* memproduksi geometri yang kompleks dengan kualitas penyelesaian permukaan serta toleransi geometri (Newman et al, 2015).

3D *printing* adalah proses manufaktur yang menghasilkan objek dari *software computer aided design* (CAD). Pada tahun 1986 di California, USA metode yang digunakan pertama kali adalah metode *stereolithography* (SLA). Dalam penggunaannya, material mesin 3D *printing* menggunakan *filament* termoplastik. Gambar 2.1 menunjukkan 3D *printing* beserta dengan komponennya (Carneiro et al, 2015).

Metode untuk fabrikasi polimer telah banyak dikembangkan untuk pembuatan prototipe yang cepat. Diantaranya teknologi 3D *printing*, seperti *Stereolithography* (SLA), *Selective Laser Sintering* (SLS), *Binder Jetting Process*, *Laminated Object Manufacturing* (LOM), dan *Fused Deposition Modelling* (FDM) yang termasuk menggunakan *filament* polimer (Miyanaaji et al, 2016).



Gambar 2.1 Ilustrasi 3D *printing* beserta komponen

### 2.1.1.2 Cara Kerja 3D Printing

Cara kerja mesin 3D *printing* terbagi menjadi tiga tahapan proses yaitu:

a. Model Objek 3D

Model objek 3D dibuat menggunakan *software* untuk model desain 3D contohnya *Solidwork, Catia, Delcam*, dan lain-lain.

b. Proses Pencetakan

Setelah desain 3D dibuat dilakukan proses pencetakan menggunakan mesin 3D *printing*. Waktu yang dibutuhkan dalam proses pencetakan ini tergantung dari besar dan ukuran objek. Proses pencetakan menggunakan prinsip dasar *additive layer* dengan menyusun lapisan berturut-turut untuk membangun objek 3D.

c. *Finishing*

Bagian-bagian kompleks yang disebabkan oleh *over sized* atau ukuran tidak sesuai dengan yang diinginkan dapat disempurnakan. Untuk menyempurnakan proses ini menggunakan *multiple material* atau bahan yang berbeda, *multiple color* atau kombinasi warna.

### 2.1.1.3 Manfaat 3D Printing

3D *printing* memiliki beberapa manfaat diantaranya yaitu (Irawan dkk, 2019):

- a. Mengurangi *lead time* saat memproduksi prototipe.
- b. Meningkatkan kemampuan dalam memvisualisasikan bagian geometri.
- c. Mengurangi kesalahan desain.
- d. Mengurangi limbah dan mahalnya biaya desain.
- e. Dengan proses *layer manufacturing*, tingkat kompleksitas geometri produk yang dibuat tidak dibatasi. Dimana kondisi tersebut tidak dapat dikerjakan dengan proses konvensional (pemesinan dan *casting*).

### 2.1.2 Parameter Proses

3D *printing* memiliki beberapa parameter proses yang digunakan untuk pencetakan spesimen diantaranya:

a. *Nozzle temperature*

*Nozzle temperature* merupakan suhu dimana *filament* dipanaskan saat proses pencetakan.

b. *Layer thickness*

*Layer thickness* yaitu tinggi dari setiap lapisan plastik yang diekstrusi oleh mesin 3D *printing*. Penggunaan *layer thickness* ini dapat meningkatkan kecepatan dan kehalusan cetakan spesimen.

c. *Print speed*

*Print speed* merupakan parameter yang menentukan seberapa cepat motor 3D *printing* bergerak untuk mengendalikan sumbu X dan Y. Jika *print speed* terlalu lambat dapat menyebabkan perubahan bentuk karena *nozzle* terlalu lama menempel pada spesimen. Dan jika terlalu cepat spesimen akan panas dikarenakan pendinginan yang kurang.

d. *Infill rate*

*Infill rate* yaitu kepadatan pengisi dalam suatu bagian yang ditentukan dengan persentase antara 0% sampai 100%, dimana 0% bagian tidak terisi penuh (berlubang) dan 100% terisi penuh (padat). Parameter proses ini mengatur kepadatan massa akhir hasil cetakan, sehingga sangat mempengaruhi berat suatu benda.

e. *Temperature based plate*

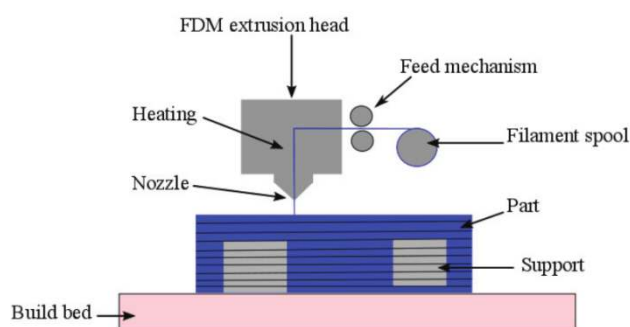
*Temperature based plate* merupakan suhu yang digunakan untuk membuat spesimen tetap berada pada posisinya saat pencetakan berlangsung.

### 2.1.3 Fused Deposition Modelling (FDM)

Teknologi *Fused Deposition Modelling* (FDM) atau *Fused Filament Fabrication* (FFF) merupakan teknologi yang berkembang pesat karena proses pencetakannya fleksibel dan biaya rendah (Goh et al, 2019). Teknologi 3D *printing* FDM merupakan teknologi 3D *printing* yang sering dijumpai dipasaran

(Setiawan dkk, 2018). Dengan menggunakan teknologi ini, model 3D CAD dengan format *\*.stl* dapat dicetak dengan menambahkan *filament* lapis demi lapis (Bikas et al, 2016).

FDM (*Fused Deposition Modelling*) merupakan teknologi *additive manufacturing* yang digunakan dalam pemodelan, prototipe dan produksi. Dalam proses pencetakan FDM *filament* diekstrusi atau dilelehkan oleh *nozzle* (Alsoufi dan Elsayed, 2017). Kepala cetak atau *nozzle* bergerak pada sumbu X dan Y dengan mengekstrusi *filament* sesuai dengan desain model 3D. Proses ekstrusi dilakukan lapis demi lapis, setelah satu lapisan *filament* selesai *nozzle* bergerak pada sumbu Z atau vertikal untuk memulai lapisan baru pada lapisan sebelumnya. Proses ini dilakukan secara berulang hingga tercetak model 3D yang didesain (Parandoush dan Dong Lin, 2017). Proses ekstrusi *filament* ini ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Ilustrasi Proses FDM

#### 2.1.4 *Polylactic Acid (PLA)*

*Polylactic Acid (PLA)* merupakan bahan yang terbuat dari sumber daya terbarukan. PLA berasal dari tanaman seperti tepung jagung, akar tapioka dan tebu. Bahan yang menyusun PLA yaitu monomer asam laktat atau laktida ( $C_3H_6O_3$ ). PLA memiliki beberapa manfaat yaitu *biodegradable* atau terurai secara hayati, serta PLA merupakan termoplastik, artinya dapat dilebur dan dibentuk kembali, sehingga secara mekanis PLA dapat didaur ulang. Kelebihan PLA yaitu bersifat *biodegradable* dan memiliki karakteristik yang mirip dengan

*polypropylene* (PP), *polyethylene* (PE), atau *polysterene* (PS) yang biasa menekan biaya produksi (Satria, 2019).

Karakteristik dari *filament* PLA tidak beracun, menyusut saat dipanaskan sehingga cocok digunakan untuk wadah plastik. Sifatnya yang mudah larut dapat digunakan untuk pencetakan 3D *printing*. Namun disatu sisi suhu transisi yang relatif rendah menjadikan *filament* ini tidak cocok bersentuhan dengan cairan panas yang berlebihan. Menurut beberapa literatur waktu pelapukan *filament* ini berkisar 6 hingga 24 bulan yang disebabkan oleh kelembaban, suhu dan debu (Satria, 2019).

Tabel 2.1 Spesifikasi *Filament* PLA

<i>Filament Diameter</i>	1,75mm
<i>Printing Temperature</i>	190 – 220°C
<i>Build Bed Temperature</i>	0 - 50°C
<i>Print Speed</i>	30 – 80mm/s
<i>Layer Height</i>	0,1 – 0,3mm
<i>Spesific Gravity</i>	1,25g/cm <sup>3</sup>
<i>Tensile Strength</i>	58Mpa

### 2.1.5 Metode *Taguchi*

Metode *Taguchi* merupakan suatu metodologi dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode *Taguchi* memperkenalkan pendekatan dengan menggunakan pendekatan desain eksperimen yang berguna untuk :

- a. Merancang suatu produk atau merancang proses sehingga kualitasnya kokoh terhadap kondisi lingkungan.
- b. Merancang atau mengembangkan produk sehingga kualitasnya kokoh terhadap variasi komponen.
- c. Meminimalkan variasi di sekitar target.

Metode *Taguchi* memiliki keunggulan seperti desain eksperimen *Taguchi* lebih efisien karena memungkinkan untuk melaksanakan penelitian yang melibatkan banyak faktor dan jumlah. Desain eksperimen *Taguchi* memungkinkan diperolehnya suatu proses yang menghasilkan produk konsisten dan kokoh terhadap faktor yang sulit dikontrol. Metode *Taguchi* juga menghasilkan respon yang optimum dari faktor-faktor yang dikontrol.

Metode *Taguchi* juga memiliki kekurangan seperti rancangan metode *Taguchi* mempunyai struktur yang sangat kompleks. Untuk mengatasinya perlu dilakukan pemilihan rancangan percobaan secara hati-hati dan sesuai dengan tujuan penelitian.

Metode *Taguchi* menggunakan seperangkat matriks khusus yang disebut Matriks Orthogonal. Matriks standar ini merupakan langkah untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter (Soejanto, 2009).

#### **2.1.6 *Design of Experiment (DOE)***

*Design of experiment (DOE)* merupakan evaluasi terhadap dua atau lebih faktor terhadap kemampuan untuk mempengaruhi rata-rata dari karakteristik produk. DOE yang baik yaitu mempunyai efisiensi yang tinggi dan dapat memberikan informasi yang optimal (Soejanto, 2009).

Terdapat tiga tahapan utama desain eksperimen *Taguchi*. Tahapan tersebut adalah (Soejanto, 2009):

##### **1. Tahap Perencanaan**

Tahap ini akan menghasilkan percobaan yang memberikan informasi positif atau negatif. Tahap ini terdiri dari beberapa langkah:

##### **a. Identifikasi Faktor (Variabel Bebas)**

Faktor atau variabel bebas yaitu perubahan variabelnya tidak bergantung dengan variabel lain. Faktor dipilih dari mana saja untuk diselidiki pengaruhnya terhadap variabel respon. Dengan demikian, percobaan dapat dilakukan secara efektif dan efisien.

b. Variabel Respon

Variabel respon yaitu perubahan dimana variabelnya bergantung pada variabel lain. Suatu eksperimen harus ditentukan dengan jelas variabel respon yang akan diteliti.

c. Pemilihan Matriks Orthogonal

Pemilihan matriks orthogonal bertujuan untuk mengevaluasi sejumlah variabel dengan jumlah percobaan yang minimum. Matriks orthogonal dilambangkan dengan:

$$L_a(b^c)$$

Dengan:

L = Rancangan bujur sangkar latin

a = Banyaknya percobaan

b = Banyaknya level variabel

c = Banyaknya variabel

2. Tahap Pelaksanaan

Jumlah replikasi termasuk kedalam tahap pelaksanaan. Replikasi merupakan pengulangan perlakuan pada kondisi yang sama dalam suatu percobaan untuk mendapatkan ketelitian yang lebih tinggi, mengurangi kesalahan serta memperoleh harga taksiran dari kesalahan.

3. Tahap Analisis

Tahap ini meliputi pengumpulan dan pengolahan data. Perhitungan dan pengujian data statistik dilakukan pada data hasil percobaan. *S/N Ratio (Signal to Noise Ratio)* merupakan salah satu tahapan analisis.

*Signal to Noise Ratio (SNR)* dalam metode *Taguchi* digunakan untuk mengetahui nilai level faktor yang berpengaruh dan optimal bagi karakteristik kualitas dari hasil eksperimen. Karakteristik kualitas pada SNR terdiri dari:

a. *Smaller is Better*

*Smaller is better* atau semakin kecil semakin baik adalah karakteristik kualitas dengan batas nilai nol dan non-negatif, dimana nilai yang mendekati nol merupakan nilai yang diinginkan.

Nilai S/N karakteristik *smaller is better* untuk perhitungan manual yaitu:

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

b. *Nominal is Best*

*Nominal is best* atau tertuju pada nilai tertentu adalah karakteristik kualitas dengan nilai tidak nol dan terbatas, dimana suatu nilai yang mendekati nilai yang telah ditentukan adalah yang terbaik.

Nilai S/N karakteristik *nominal is best* untuk perhitungan manual yaitu:

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

c. *Larger is Better*

*Larger is better* atau semakin besar semakin baik adalah karakteristik kualitas dengan rentang nilai yang tak terbatas dan non-negatif, dimana nilai semakin besar merupakan nilai yang diinginkan.

Nilai S/N karakteristik *larger is better* untuk perhitungan manual yaitu:

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \dots\dots\dots (3)$$

### 2.1.7 Uji Konfirmasi

Uji konfirmasi merupakan percobaan yang dilakukan untuk memeriksa kesimpulan yang didapat. Uji konfirmasi dilaksanakan dengan melakukan pengujian menggunakan kombinasi faktor dan level hasil optimum evaluasi sebelumnya. Tujuan uji konfirmasi yaitu untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diperoleh selama tahap analisa (Soejanto, 2009).

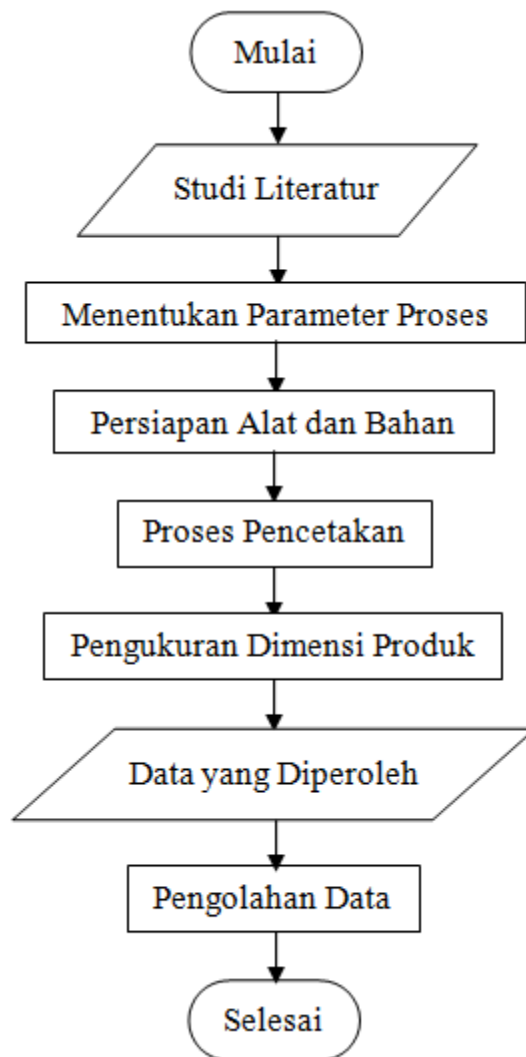


## BAB III METODE PELAKSANAAN

### 3.1 Diagram Alir

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Metode eksperimen ini digunakan untuk mendapatkan parameter proses yang optimal terhadap keakurasian dimensi spesimen.

Tahapan proses penelitian yang akan dilakukan ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Studi Literatur

Studi literatur adalah mencari referensi teori dengan kasus atau permasalahan yang telah ditentukan. Referensi ini dapat dicari dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, artikel laporan penelitian, serta situs-situs internet. Studi literatur ini digunakan sebagai data pendukung dalam proses penelitian ini.

### 3.3 Penentuan Parameter Proses

#### 3.3.1 *Design of Experiment (DOE)*

Mengoptimalkan produk 3D *printing* dilakukan menggunakan *design of experiment* (DOE) dengan menentukan desain faktorial dan data variasi parameter yang dimasukkan pada proses *slicing* untuk menentukan jumlah eksperimen minimal. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah *nozzle temperature* (°C), *layer thickness* (mm), *print speed* (mm/s), *infill rate* (%), dan *temperature based plate* (°C).

#### 3.3.2 Penentuan Faktor dan Level Eksperimen

Pemilihan parameter proses yang berupa faktor dan level eksperimen ditentukan berdasarkan studi pustaka. Parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *nozzle temperature* (°C), *layer thickness* (mm), *print speed* (mm/s), *infill rate* (%), dan *temperature based plate* (°C). Nilai level dan parameter proses yang diuji pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Nilai Level dan Parameter Proses yang Diuji

Faktor	Parameter Proses	Level		
		1	2	3
A	<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	185	195	205
B	<i>Layer Thickness</i> (mm)	0.15	0.20	0.25
C	<i>Print Speed</i> (mm/s)	35	40	45
D	<i>Infill Rate</i> (%)	8	10	12
E	<i>Temperature Based Plate</i> (°C)	40	45	50

### 3.3.3 Variabel Respon

Variabel respon adalah variabel yang diamati dalam penelitian. Pada penelitian variabel respon yang digunakan adalah akurasi dimensi produk.

### 3.3.4 Desain Faktorial

Desain faktorial pada penelitian ini dibuat menggunakan *software*. Penelitian ini menggunakan metode *Taguchi L<sub>27</sub> orthogonal array* (OA) dengan lima parameter dan tiga level. Tabel 3.2 menunjukkan desain faktorial yang akan digunakan untuk mencetak spesimen yang akan diuji.

Tabel 3.2 Desain Faktorial L<sub>27</sub> OA

<b>Exp.</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2
3	1	1	1	1	3
4	1	2	2	2	1
5	1	2	2	2	2
6	1	2	2	2	3
7	1	3	3	3	1
8	1	3	3	3	2
9	1	3	3	3	3
10	2	1	2	3	1
11	2	1	2	3	2
12	2	1	2	3	3
13	2	2	3	1	1
14	2	2	3	1	2
15	2	2	3	1	3
16	2	3	1	2	1
17	2	3	1	2	2
18	2	3	1	2	3

19	3	1	3	2	1
20	3	1	3	2	2
21	3	1	3	2	3
22	3	2	1	3	1
23	3	2	1	3	2
24	3	2	1	3	3
25	3	3	2	1	1
26	3	3	2	1	2
27	3	3	2	1	3

Eksperimen akan dilakukan berdasarkan Tabel 3.2. Huruf A, B, C, D, dan E serta angka 1 (satu), 2 (dua) dan 3 (tiga) pada Tabel 3.2 akan diubah menjadi parameter proses dan nilai level seperti pada Tabel 3.1. Nilai level tiap parameter proses tersebut nantinya diinput ke *software slicing* untuk mendapatkan *G-code* proses pencetakan. *G-code* ini dimasukkan kedalam kartu memori kemudian kartu memori tersebut dimasukkan ke mesin 3D *printing* lalu dilakukan proses pencetakan. Proses pencetakan dilakukan sebanyak dua puluh tujuh pencetakan dengan spesimen yang dihasilkan setiap eksperimennya sebanyak tiga spesimen. Hasil cetakan akan diukur menggunakan jangka sorong digital dan dirata-ratakan. Nilai rata-rata hasil pengujian akan dimasukkan ke *software* analisis untuk diolah.

### 3.4 Persiapan Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.4.1 Alat Penelitian

Pada penelitian ini alat yang digunakan diantaranya:

a. Mesin 3D *Printing* FDM

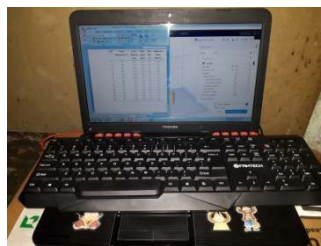
Pada penelitian ini mesin yang digunakan untuk mencetak *filament* menggunakan mesin 3D *printing* FDM DIY XYZ A1 180 × 180 × 180 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Mesin 3D *Printing* FDM

b. Laptop

Laptop digunakan untuk menjalankan *software* yang akan digunakan dalam penelitian. Laptop ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Laptop

c. *Software Slicer*

*Software* ini digunakan untuk memasukkan parameter dan membuat *G-code* pada mesin 3D *printing*.

d. *Vernier Caliper* (Jangka Sorong)

Jangka sorong berfungsi untuk mengukur suatu benda dari sisi luar. Spesifikasi jangka sorong yang digunakan adalah jangka sorong digital dengan ketelitian 0,01mm. Jangka sorong digital ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Jangka Sorong Digital

### 3.4.2 Bahan Penelitian

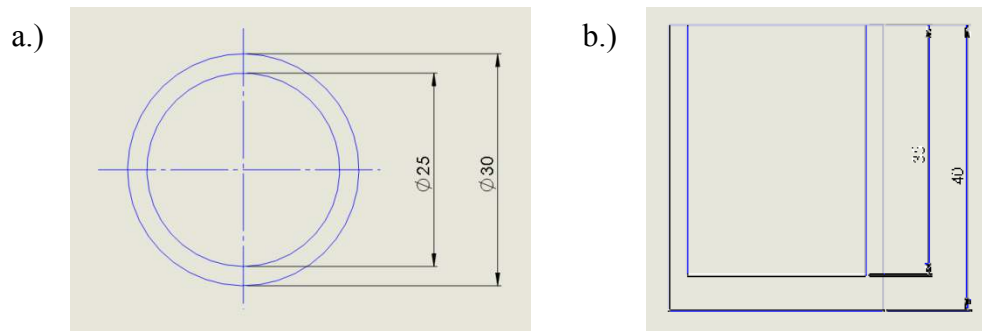
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *filament PLA food grade* dengan diameter *filament* 1,75mm. *PLA food grade* dapat ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 *PLA food grade*

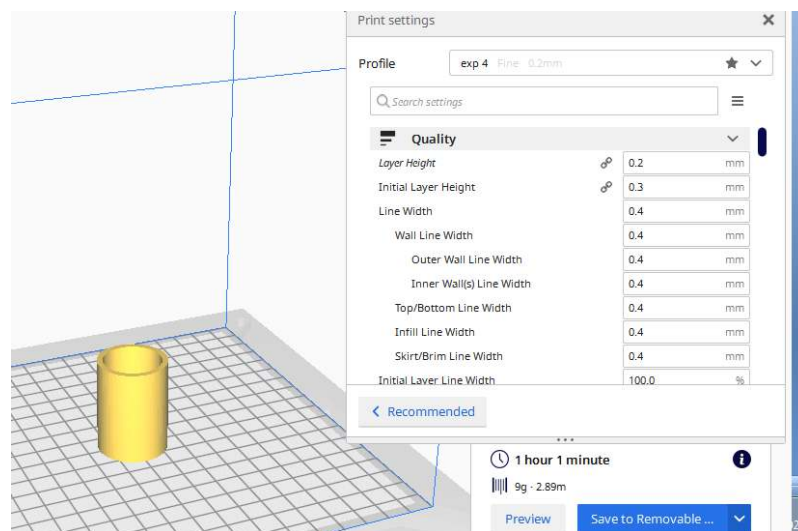
### 3.4.3 Objek Penelitian

Objek penelitian yang dilakukan pada mesin 3D *Printing* FDM yaitu spesimen uji dengan dimensi objek  $\text{Ø}30\text{mm} \times 40\text{mm}$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6. Objek penelitian ini didesain dengan menggunakan *software* CAD. Hasil desain objek penelitian ini disimpan dalam format STL (\*.*stl*) dan diolah dalam *software slicing*, untuk mengubah objek penelitian menjadi *layer by layer* dengan variasi faktor dan level untuk menghasilkan *G-code* Gambar 3.7.



Gambar 3.6 Dimensi dan Bentuk Spesimen Uji

a.) Dimensi Diameter Spesimen, b.) Dimensi Tinggi Spesimen



Gambar 3.7 Proses *Slicing*

### 3.5 Proses Pencetakan

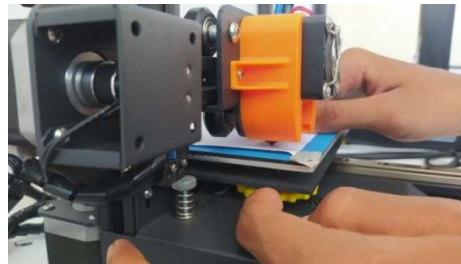
Proses pencetakan spesimen dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

- a. Hidupkan mesin 3D *printing*.
- b. Masukkan kartu memori yang telah berisi *G-code* hasil *slicing* spesimen seperti Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Kartu Memori

- c. Sebelum masuk ke proses pencetakan kalibrasi atau *setting nol bed* mesin 3D *printing* seperti pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 *Setting Bed* mesin 3D *printing*

- d. Pilih menu, klik *Prepare* kemudian klik *Temperature* lalu *setting temperature nozzle* dan *temperature bed* dengan nilai parameter proses yang akan dicetak seperti Gambar 3.10.



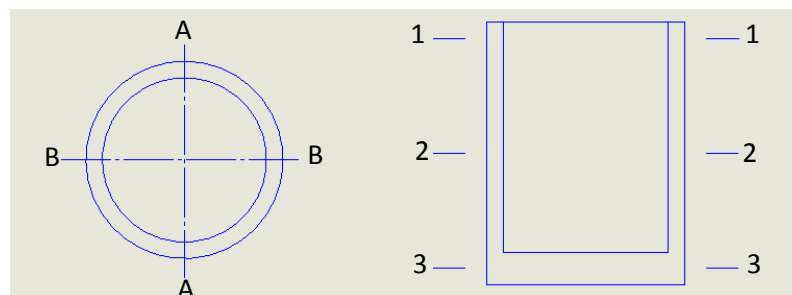
Gambar 3.10 *Setting Temperature Nozzle* dan *Bed*



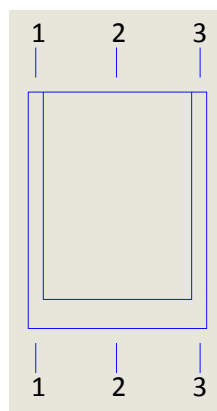
- e. Setelah itu klik *Print From Media* untuk melakukan proses pencetakan spesimen. Proses pencetakan dilakukan sesuai dengan nomor eksperimen, setiap eksperimen dicetak sebanyak 3 (tiga) kali replikasi.
- f. Setelah proses pencetakan selesai lepaskan spesimen dari *bed* mesin 3D *printing* dan selanjutnya dilakukan proses pengukuran dimensi spesimen.

### 3.6 Pengukuran Dimensi Spesimen

Spesimen 3D *printing* diukur untuk mengetahui tingkat akurasi dimensi produk yang telah dicetak. Pengukuran dimensi spesimen ini menggunakan jangka sorong digital dengan kecermatan 0,01mm. Dimensi yang diukur yaitu, diameter luar dan tinggi spesimen. Setiap dimensi spesimen diukur pada tiga titik yang berbeda. Posisi pengukuran spesimen ditunjukkan pada Gambar 3.11 dan Gambar 3.12.



Gambar 3.11 Posisi Pengukuran Dimensi Spesimen Diameter Luar



Gambar 3.12 Posisi Pengukuran Dimensi Spesimen Tinggi

### **3.7 Data yang Diperoleh**

Data hasil pengukuran diameter luar, tinggi serta diameter luar dan tinggi diketik kedalam *microsoft office* yang kemudian data tersebut dilanjutkan ke proses pengolahan data.

### **3.8 Pengolahan Data**

Setelah data hasil proses pengukuran didapatkan, langkah selanjutnya yaitu memasukkan data tersebut kedalam *software* analisis untuk diolah. Pengolahan data ini dilakukan untuk mendapati parameter proses yang optimal.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengambilan Data Hasil Percobaan

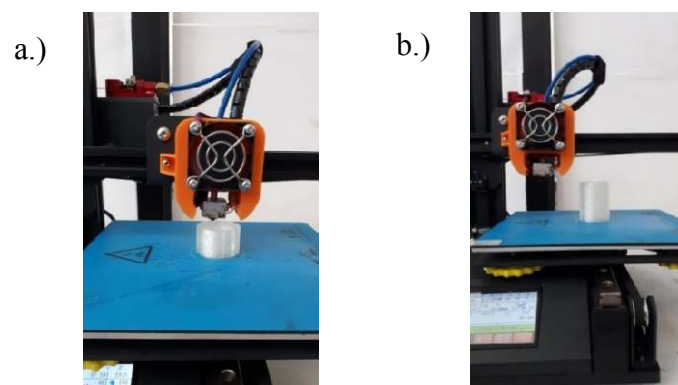
Pengambilan data penelitian ini dilakukan dengan cara mengkombinasikan parameter proses yang terdapat pada mesin 3D *printing* FDM. Adapun parameter-parameter proses yang dianggap berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi yaitu *nozzle temperature* (°C), *layer thickness* (mm), *print speed* (mm/s), *infill rate* (%), dan *temperature based plate* (°C). Tabel 4.1 menunjukkan hasil desain faktorial *Taguchi* L<sub>27</sub> OA. Pada tahap ini, setelah memiliki data hasil pengujian, data tersebut diolah menggunakan *software* analisis untuk memperoleh parameter yang optimal terhadap akurasi dimensi.

Tabel 4.1 Desain Faktorial Penelitian L<sub>27</sub> OA

<i>Exp.</i>	<b>Nozzle Temperature (°C)</b>	<b>Layer Thickness (mm)</b>	<b>Print Speed (mm/s)</b>	<b>Infill Rate (%)</b>	<b>Temperature Based Plate (°C)</b>
<b>1</b>	185	0,15	35	8	40
<b>2</b>	185	0,15	35	8	45
<b>3</b>	185	0,15	35	8	50
<b>4</b>	185	0,20	40	10	40
<b>5</b>	185	0,20	40	10	45
<b>6</b>	185	0,20	40	10	50
<b>7</b>	185	0,25	45	12	40
<b>8</b>	185	0,25	45	12	45
<b>9</b>	185	0,25	45	12	50
<b>10</b>	195	0,15	40	12	40
<b>11</b>	195	0,15	40	12	45
<b>12</b>	195	0,15	40	12	50
<b>13</b>	195	0,20	45	8	40

14	195	0,20	45	8	45
15	195	0,20	45	8	50
16	195	0,25	35	10	40
17	195	0,25	35	10	45
18	195	0,25	35	10	50
19	205	0,15	45	10	40
20	205	0,15	45	10	45
21	205	0,15	45 <td 10	50	
22	205	0,20	35	12	40
23	205	0,20	35	12	45
24	205	0,20	35	12	50
25	205	0,25	40	8	40
26	205	0,25	40	8	45
27	205	0,25	40	8	50

Tabel 4.1 digunakan untuk mencetak spesimen uji akurasi dimensi. Spesimen ini dicetak dengan data awal 1 (satu) kali dan 2 (dua) kali replikasi setiap eksperimennya. Nilai level tiap parameter proses eksperimen diinput ke *software slicing* untuk mendapatkan *G-code* proses pencetakan. *G-code* ini dimasukkan ke mesin *3D printing* kemudian dilakukan proses pencetakan. Proses pencetakan spesimen ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Proses Pencetakan Spesimen

a.) Spesimen Setengah Jadi, b.) Spesimen Selesai Sepenuhnya

Hasil dari proses pencetakan spesimen dengan 3 (tiga) kali replikasi setiap eksperimennya ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Spesimen Hasil Pencetakan

Spesimen dari hasil pencetakan ini selanjutnya akan dilakukan proses pengukuran akurasi dimensi dengan diameter luar (30mm) , tinggi (40mm) dan diameter luar dan tinggi spesimen. Proses pengukuran akurasi dimensi spesimen ini ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Proses Pengukuran Diameter Luar Spesimen



Gambar 4.4 Proses Pengukuran Tinggi Spesimen

Setelah dilakukan pengukuran pada spesimen, didapati nilai dari hasil pengukuran untuk diameter luar, tinggi serta diameter luar dan tinggi spesimen yang ditunjukkan pada tabel-tabel dibawah ini.

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Diameter Luar Spesimen

EXP	Diameter Luar			Rata-Rata
	Data Awal Spesimen	Replikasi 1 Spesimen	Replikasi 2 Spesimen	
1	29,95	29,96	30,00	29,97
2	29,95	29,93	29,99	29,96
3	30,03	30,02	30,01	30,02
4	30,00	29,99	29,95	29,98
5	29,94	29,95	29,93	29,94
6	29,95	29,96	30,01	29,97
7	29,96	29,96	29,99	29,97
8	30,01	30,00	29,99	30,00
9	29,88	29,95	29,91	29,91
10	30,06	29,96	30,05	30,02
11	30,06	30,04	30,02	30,04
12	30,01	30,01	29,98	30,00
13	29,99	29,99	30,00	29,99
14	30,02	30,01	29,96	30,00
15	29,98	29,95	30,00	29,98

<b>16</b>	29,93	29,95	30,00	<b>29,96</b>
<b>17</b>	29,96	30,01	30,00	<b>29,99</b>
<b>18</b>	29,88	29,93	29,94	<b>29,92</b>
<b>19</b>	30,01	29,97	30,01	<b>30,00</b>
<b>20</b>	29,99	30,01	30,00	<b>30,00</b>
<b>21</b>	30,02	30,02	30,03	<b>30,02</b>
<b>22</b>	30,01	29,97	30,01	<b>30,00</b>
<b>23</b>	30,04	29,97	29,96	<b>29,99</b>
<b>24</b>	30,02	29,99	30,02	<b>30,01</b>
<b>25</b>	29,98	29,95	29,93	<b>29,95</b>
<b>26</b>	29,95	29,93	29,95	<b>29,94</b>
<b>27</b>	29,94	29,95	29,94	<b>29,94</b>

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Tinggi Spesimen

<b>EXP</b>	<b>Tinggi</b>			<b>Rata-Rata</b>
	<b>Data Awal Spesimen</b>	<b>Replikasi 1 Spesimen</b>	<b>Replikasi 2 Spesimen</b>	
<b>1</b>	39,94	39,94	39,92	<b>39,93</b>
<b>2</b>	39,97	39,98	39,98	<b>39,98</b>
<b>3</b>	39,93	39,94	39,96	<b>39,94</b>
<b>4</b>	39,93	39,96	39,97	<b>39,95</b>
<b>5</b>	40,02	40,03	40,04	<b>40,03</b>
<b>6</b>	39,99	40,01	40,02	<b>40,01</b>
<b>7</b>	39,85	39,88	39,86	<b>39,86</b>
<b>8</b>	39,89	39,93	39,92	<b>39,91</b>
<b>9</b>	39,85	39,87	39,88	<b>39,87</b>
<b>10</b>	40,00	40,00	40,00	<b>40,00</b>
<b>11</b>	39,99	39,98	39,99	<b>39,99</b>
<b>12</b>	39,81	39,81	39,82	<b>39,81</b>
<b>13</b>	39,99	40,01	40,01	<b>40,00</b>

<b>14</b>	39,92	39,93	39,95	<b>39,93</b>
<b>15</b>	39,91	39,92	39,91	<b>39,91</b>
<b>16</b>	39,89	39,89	39,92	<b>39,90</b>
<b>17</b>	39,85	39,85	39,84	<b>39,85</b>
<b>18</b>	39,75	39,76	39,79	<b>39,77</b>
<b>19</b>	39,97	39,96	39,95	<b>39,96</b>
<b>20</b>	39,77	39,74	39,76	<b>39,76</b>
<b>21</b>	39,78	39,79	39,77	<b>39,78</b>
<b>22</b>	40,00	40,02	40,02	<b>40,01</b>
<b>23</b>	39,96	39,98	39,99	<b>39,98</b>
<b>24</b>	39,87	39,88	39,89	<b>39,88</b>
<b>25</b>	39,83	39,82	39,84	<b>39,83</b>
<b>26</b>	39,89	39,92	39,92	<b>39,91</b>
<b>27</b>	39,87	39,88	39,90	<b>39,88</b>

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Diameter Luar dan Tinggi Spesimen

<b>EXP</b>	<b>Diameter Luar dan Tinggi</b>			<b>Rata-Rata</b>
	<b>Data Awal Spesimen</b>	<b>Replikasi 1 Spesimen</b>	<b>Replikasi 2 Spesimen</b>	
<b>1</b>	34,95	34,95	34,96	<b>34,95</b>
<b>2</b>	34,96	34,96	34,99	<b>34,97</b>
<b>3</b>	34,98	34,98	34,99	<b>34,98</b>
<b>4</b>	34,97	34,98	34,96	<b>34,97</b>
<b>5</b>	34,98	34,99	34,99	<b>34,99</b>
<b>6</b>	34,97	34,99	35,02	<b>34,99</b>
<b>7</b>	34,91	34,92	34,93	<b>34,92</b>
<b>8</b>	34,95	34,97	34,96	<b>34,96</b>
<b>9</b>	34,87	34,91	34,90	<b>34,89</b>
<b>10</b>	35,03	34,98	35,03	<b>35,01</b>
<b>11</b>	35,03	35,01	35,01	<b>35,01</b>



<b>12</b>	34,91	34,91	34,90	<b>34,91</b>
<b>13</b>	34,99	35,00	35,01	<b>35,00</b>
<b>14</b>	34,97	34,97	34,96	<b>34,97</b>
<b>15</b>	34,95	34,94	34,96	<b>34,95</b>
<b>16</b>	34,91	34,92	34,96	<b>34,93</b>
<b>17</b>	34,91	34,93	34,92	<b>34,92</b>
<b>18</b>	34,82	34,85	34,87	<b>34,84</b>
<b>19</b>	34,99	34,97	34,98	<b>34,98</b>
<b>20</b>	34,88	34,88	34,88	<b>34,88</b>
<b>21</b>	34,90	34,91	34,90	<b>34,90</b>
<b>22</b>	35,01	35,00	35,02	<b>35,01</b>
<b>23</b>	35,00	34,98	34,98	<b>34,98</b>
<b>24</b>	34,95	34,94	34,96	<b>34,95</b>
<b>25</b>	34,91	34,89	34,89	<b>34,89</b>
<b>26</b>	34,92	34,93	34,94	<b>34,93</b>
<b>27</b>	34,91	34,92	34,92	<b>34,91</b>

---

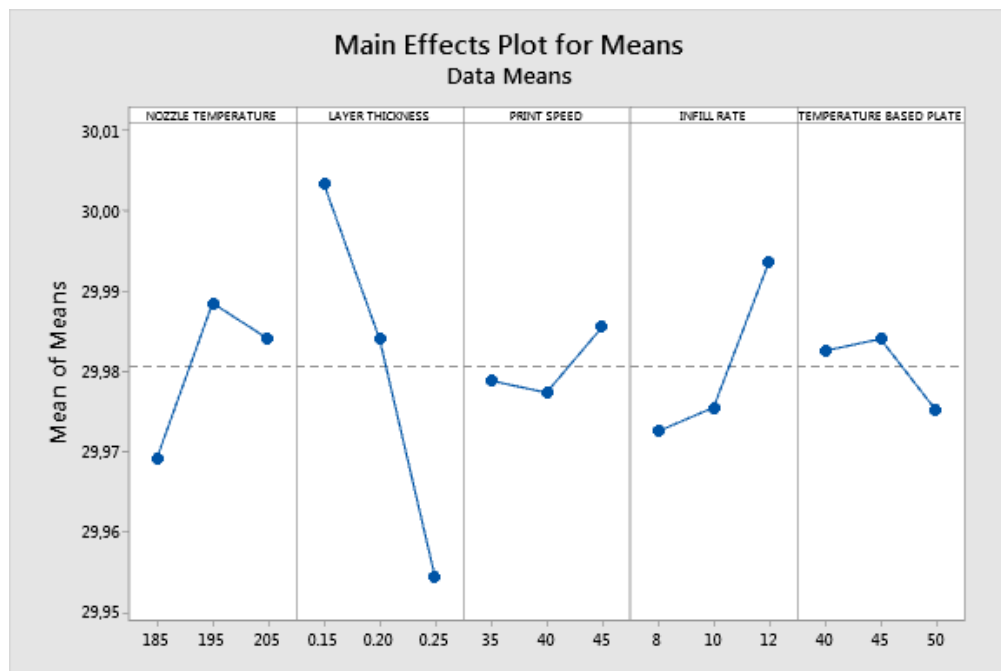
Nilai rata-rata pada tabel-tabel diatas selanjutnya akan dimasukkan ke dalam *software* analisis untuk diolah.

#### **4.2 Pengolahan Data Hasil Eksperimen**

Pengolahan data hasil pengujian dilakukan untuk memperoleh pengaturan parameter proses yang optimal dan berpengaruh terhadap hasil uji akurasi dimensi menggunakan metode *Taguchi*. Pengolahan data ini menggunakan *software* analisis, dimana nilai pada Tabel 4.2, Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 data hasil pengujian tersebut dimasukkan kedalam *software* analisis untuk mendapatkan nilai hasil respon *Mean Plot* dan *S/N Ratio* dengan kualitas "*Larger is Better*" karena semakin besar nilai yang dihasilkan menandakan akurasi dimensi yang dihasilkan semakin baik.

#### 4.2.1 Mean Plot dan S/N Ratio “Larger is Better” Diameter Luar Spesimen

Hasil respon *Mean Plot* dari *software* analisis ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan Tabel 4.5. Serta hasil *S/N Ratio “Larger is Better”* ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.6.

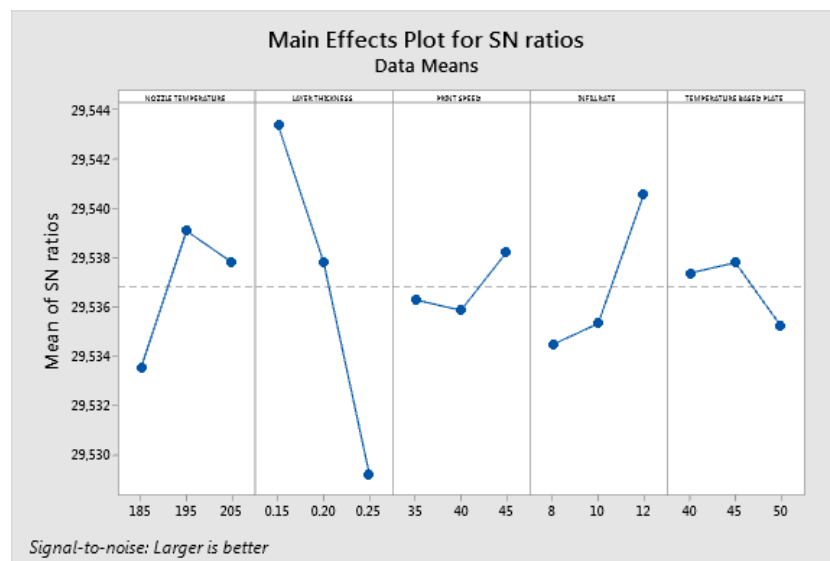


Gambar 4.5 Grafik *Mean Plot* Diameter Luar Spesimen

Tabel 4.5 Hasil *Mean Plot* Diameter Luar Spesimen

<i>Response Table for Means</i>					
Level	<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	<i>Layer Thickness</i> (mm)	<i>Print Speed</i> (mm/s)	<i>Infill Rate</i> (%)	<i>Temperature Based Plate</i> (°C)
1	29,97	30,00	29,98	29,97	29,98
2	29,99	29,98	29,98	29,98	29,98
3	29,98	29,95	29,99	29,99	29,98
Delta	0,02	0,05	0,01	0,02	0,01
Rank	3	1	5	2	4

Berdasarkan Gambar 4.5 dan Tabel 4.5 parameter proses yang memiliki pengaruh terbesar yaitu *layer thickness*. Dan secara berturut-turut parameter yang memiliki pengaruh serta level optimal yang sesuai dengan kualitas “*larger is better*” yaitu *layer thickness* level satu (0,15mm), *infill rate* level tiga (12%), *nozzle temperature* level dua (195°C), *temperature based plate* level dua (45°C), dan *print speed* level tiga (45mm/s).



Gambar 4.6 Grafik S/N Ratio Diameter Luar Spesimen

Berdasarkan Gambar 4.6 parameter proses optimal terhadap akurasi dimensi diameter luar yaitu *nozzle temperature* (195°C), *layer thickness* (0,15mm), *print speed* (45mm/s), *infill rate* (12%), dan *temperature based plate* (45°C).

Tabel 4.6 S/N Ratio Diameter Luar Spesimen

<i>Response for S/N Ratio</i>					
Level	<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	<i>Layer Thickness</i> (mm)	<i>Print Speed</i> (mm/s)	<i>Infill Rate</i> (%)	<i>Temperature Based Plate</i> (°C)
1	29,53	29,54	29,54	29,53	29,54
2	29,54	29,54	29,54	29,54	29,54
3	29,54	29,53	29,54	29,54	29,54
Delta	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
Rank	3	1	5	2	4

Tabel 4.6 menunjukkan parameter proses yang memiliki pengaruh paling besar terhadap keakuratan dimensi diameter luar spesimen yaitu *layer thickness*. Dan untuk pengaruh parameter proses secara berturut-turut yaitu *layer thickness*, *infill rate*, *nozzle temperature*, *temperature based plate*, dan *print speed*.

#### 4.2.2 Mean Plot dan S/N Ratio “Larger is Better” Tinggi Spesimen

Untuk hasil respon *Mean Plot* tinggi spesimen dari *software* analisis ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan Tabel 4.7. Serta hasil S/N Ratio “Larger is Better” ditunjukkan pada Gambar 4.8 dan Tabel 4.8.

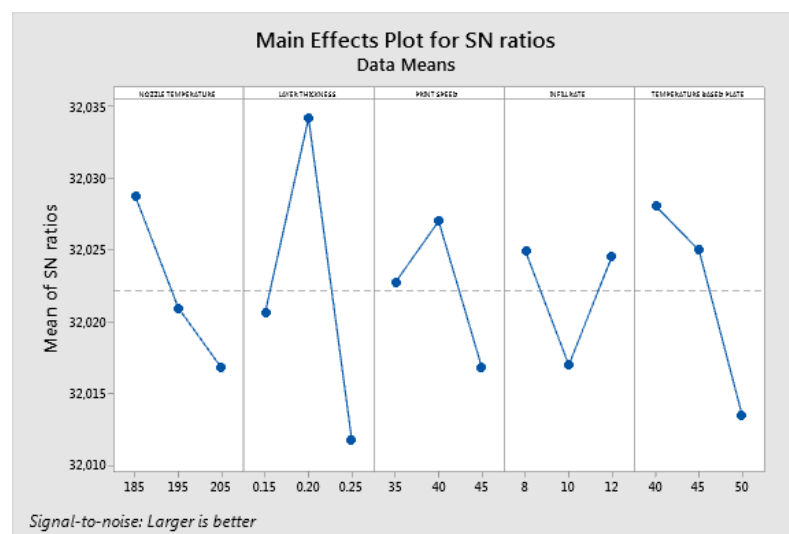


Gambar 4.7 Grafik *Mean Plot* Tinggi Spesimen

Tabel 4.7 Hasil *Mean Plot* Tinggi Spesimen

<i>Response Table for Means</i>					
Level	<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	<i>Layer Thickness</i> (mm)	<i>Print Speed</i> (mm/s)	<i>Infill Rate</i> (%)	<i>Temperature Based Plate</i> (°C)
1	39,94	39,91	39,92	39,93	39,94
2	39,91	39,97	39,93	39,89	39,93
3	39,89	39,86	39,89	39,92	39,87
Delta	0,06	0,10	0,05	0,04	0,07
Rank	3	1	4	5	2

Berdasarkan Gambar 4.7 dan Tabel 4.7 parameter proses yang memiliki pengaruh terbesar yaitu *layer thickness*. Dan secara berturut-turut parameter yang memiliki pengaruh serta level optimal yang sesuai dengan kualitas “*larger is better*” yaitu *layer thickness* level dua (0,15mm), *temperature based plate* level satu (40°C), *nozzle temperature* level satu (185°C), *print speed* level dua (40mm/s), dan *infill rate* level satu (8%).



Gambar 4.8 Grafik S/N Ratio Tinggi Spesimen

Berdasarkan Gambar 4.8 parameter proses optimal terhadap akurasi dimensi tinggi yaitu *nozzle temperature* (185°C), *layer thickness* (0,20mm), *print speed* (40mm/s), *infill rate* (8%), dan *temperature based plate* (40°C ).

Tabel 4.8 S/N Ratio Tinggi Spesimen

<i>Response for S/N Ratio</i>					
Level	<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	<i>Layer Thickness</i> (mm)	<i>Print Speed</i> (mm/s)	<i>Infill Rate</i> (%)	<i>Temperature Based Plate</i> (°C)
1	32,03	32,02	32,02	32,02	32,03
2	32,02	32,03	32,03	32,02	32,03
3	32,02	32,01	32,02	32,02	32,01
Delta	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Rank	3	1	4	5	2

Tabel 4.8 menunjukkan parameter proses yang memiliki pengaruh paling besar terhadap keakuratan dimensi tinggi spesimen yaitu *layer thickness*. Dan untuk pengaruh parameter proses secara berturut-turut yaitu *layer thickness*, *temperature based plate*, *nozzle temperature*, *print speed*, dan *infill rate*.

#### 4.2.3 Mean Plot dan S/N Ratio “Larger is Better” Diameter Luar dan Tinggi Spesimen

Untuk hasil respon *Mean Plot* diameter luar dan tinggi spesimen dari *software* analisis ditunjukkan pada Gambar 4.9 dan Tabel 4.9. Serta hasil S/N Ratio “Larger is Better” ditunjukkan pada Gambar 4.10 dan Tabel 4.10.

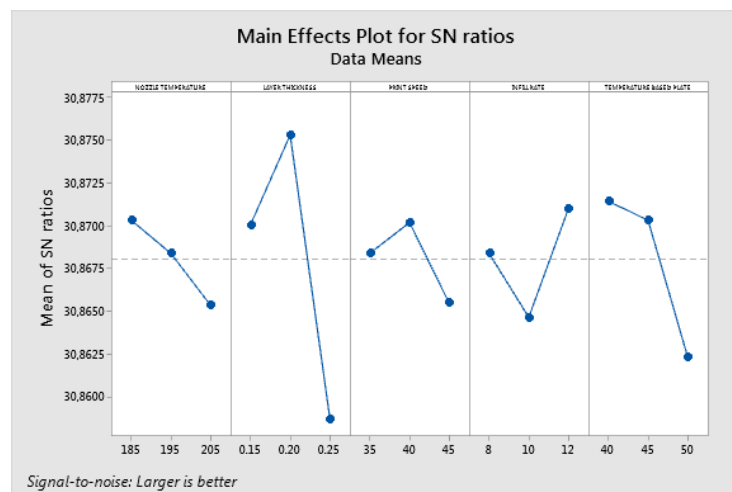


Gambar 4.9 Grafik *Mean Plot* Diameter Luar dan Tinggi Spesimen

Tabel 4.9 Hasil *Mean Plot* Diameter Luar dan Tinggi Spesimen

<i>Response Table for Means</i>					
Level	<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	<i>Layer Thickness</i> (mm)	<i>Print Speed</i> (mm/s)	<i>Infill Rate</i> (%)	<i>Temperature Based Plate</i> (°C)
1	34,96	34,95	34,95	34,95	34,96
2	34,95	34,98	34,96	34,93	34,96
3	34,94	34,91	34,94	34,96	34,92
Delta	0,02	0,07	0,02	0,03	0,04
Rank	4	1	5	3	2

Berdasarkan Gambar 4.9 dan Tabel 4.9 parameter proses yang memiliki pengaruh terbesar yaitu *layer thickness*. Dan secara berturut-turut parameter yang memiliki pengaruh serta level optimal yang sesuai dengan kualitas “*larger is better*” yaitu *layer thickness* level dua (0,15mm), *temperature based plate* level satu (40°C), *infill rate* level tiga (12%), *nozzle temperature* level satu (185°C), dan *print speed* level dua (40mm/s).



Gambar 4.10 Grafik S/N Ratio Diameter Luar dan Tinggi Spesimen

Berdasarkan Gambar 4.10 parameter proses optimal terhadap akurasi dimensi diameter luar dan tinggi spesimen yaitu *nozzle temperature* (185°C), *layer thickness* (0,20mm), *print speed* (40mm/s), *infill rate* (12%), dan *temperature based plate* (40°C).

Tabel 4.10 S/N Ratio Diameter Luar dan Tinggi Spesimen

Response for S/N Ratio					
Level	Nozzle Temperature (°C)	Layer Thickness (mm)	Print Speed (mm/s)	Infill Rate (%)	Temperature Based Plate (°C)
1	30,87	30,87	30,87	30,87	30,87
2	30,87	30,88	30,87	30,86	30,87
3	30,87	30,86	30,87	30,87	30,86
Delta	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01
Rank	4	1	5	3	2

Tabel 4.10 menunjukkan parameter proses yang memiliki pengaruh paling besar terhadap keakuratan dimensi tinggi spesimen yaitu *layer thickness*. Dan untuk pengaruh parameter proses secara berturut-turut yaitu *layer thickness*, *temperature based plate*, *infill rate*, *nozzle temperature*, dan *print speed*.

### 4.3 Uji Konfirmasi

Uji konfirmasi dilakukan untuk memvalidasi hasil yang diperoleh. Hal ini dilakukan dengan membandingkan hasil rata-rata akurasi dimensi (diameter, tinggi dan gabungan perhitungan diameter luar dan tinggi spesimen) awal dengan rata-rata hasil akurasi dimensi uji konfirmasi. Uji konfirmasi dilakukan dengan menggunakan kombinasi *setting* parameter yang diperoleh dari hasil parameter proses yang optimal sesuai dengan pengukurannya.



Gambar 4.11 Spesimen Uji Konfirmasi Diameter Luar

Tabel 4.11 Hasil Uji Konfirmasi Diameter Luar Spesimen

<b>Diameter Luar</b>			
<b>Spesimen 1</b>	<b>Spesimen 2</b>	<b>Spesimen 3</b>	<b>Rata-Rata</b>
29,99	29,93	30,01	<b>29,98</b>

Gambar 4.11 merupakan spesimen uji konfirmasi yang akan diukur diameter luar dan Tabel 4.11 menunjukkan hasil uji konfirmasi diameter luar spesimen dengan menggunakan parameter proses optimal yang terdapat pada Gambar 4.6. Parameter proses optimal yang digunakan yaitu *nozzle temperature* (195°C), *layer thickness* (0,15mm), *print speed* (45mm/s), *infill rate* (12%), dan *temperature based plate* (45°C).





Gambar 4.12 Spesimen Uji Konfirmasi Tinggi

Tabel 4.12 Hasil Uji Konfirmasi Tinggi Spesimen

<b>Tinggi</b>			
<b>Spesimen 1</b>	<b>Spesimen 2</b>	<b>Spesimen 3</b>	<b>Rata-Rata</b>
39,85	39,85	39,85	<b>39,85</b>

Gambar 4.12 merupakan spesimen uji konfirmasi yang akan diukur tinggi dan Tabel 4.12 menunjukkan hasil uji konfirmasi tinggi spesimen dengan menggunakan parameter proses optimal yang terdapat pada Gambar 4.8. Parameter proses optimal yang digunakan yaitu *nozzle temperature* (185°C), *layer thickness* (0,20mm), *print speed* (40mm/s), *infill rate* (8%), dan *temperature based plate* (40°C ).



Gambar 4.13 Spesimen Uji Konfirmasi Diameter Luar dan Tinggi

Tabel 4.13 Hasil Uji Konfirmasi Diameter Luar dan Tinggi Spesimen

<b>Diameter Luar dan Tinggi</b>			
<b>Spesimen 1</b>	<b>Spesimen 2</b>	<b>Spesimen 3</b>	<b>Rata-Rata</b>
34,87	34,85	34,88	<b>34,87</b>

Gambar 4.13 merupakan spesimen uji konfirmasi yang akan diukur diameter luar dan tinggi, serta Tabel 4.13 menunjukkan hasil uji konfirmasi diameter luar dan tinggi spesimen dengan menggunakan parameter proses optimal yang terdapat pada Gambar 4.10. Parameter proses optimal yang digunakan yaitu *nozzle temperature* (185°C), *layer thickness* (0,20mm), *print speed* (40mm/s), *infill rate* (12%), dan *temperature based plate* (40°C).

#### 4.4 Pembahasan

Dari pengolahan data hasil percobaan yang telah dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter proses optimal akurasi dimensi diameter luar, tinggi serta diameter luar dan tinggi spesimen dan juga uji konfirmasi terhadap parameter proses optimal tersebut dapat dilihat hasilnya pada tabel-tabel dibawah ini:

Tabel 4.14 Parameter Proses Optimal Diameter Luar

<b>Parameter Proses</b>	<b>Level</b>	<b>Hasil Uji (mm)</b>
<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	195	29,98
<i>Layer Thickness</i> (mm)	0,15	
<i>Print Speed</i> (mm/s)	45	
<i>Infill Rate</i> (%)	12	
<i>Temperature Based Plate</i> (°C)	45	

Tabel 4.15 Parameter Proses Optimal Tinggi

<b>Parameter Proses</b>	<b>Level</b>	<b>Hasil Uji (mm)</b>
<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	185	39,85
<i>Layer Thickness</i> (mm)	0,20	
<i>Print Speed</i> (mm/s)	40	
<i>Infill Rate</i> (%)	8	
<i>Temperature Based Plate</i> (°C)	40	

Tabel 4.16 Parameter Proses Optimal Diameter Luar dan Tinggi

<b>Parameter Proses</b>	<b>Level</b>	<b>Hasil Uji (mm)</b>
<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	185	34,87
<i>Layer Thickness</i> (mm)	0,20	
<i>Print Speed</i> (mm/s)	40	
<i>Infill Rate</i> (%)	12	
<i>Temperature Based Plate</i> (°C)	40	

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan judul “Optimasi Parameter Proses pada 3D *Printing* FDM terhadap Akurasi Dimensi *Filament* PLA *Food Grade*” dapat disimpulkan bahwa, nilai parameter proses optimal untuk akurasi dimensi diameter luar yaitu *nozzle temperature* (190°C), *layer thickness* (0,15mm), *print speed* (45mm/s), *infill rate* (12%), dan *temperature based plate* (45°C) dengan nilai uji 29,98mm. Nilai parameter proses optimal untuk tinggi yaitu *nozzle temperature* (185°C), *layer thickness* (0,20mm), *print speed* (40mm/s), *infill rate* (8%), dan *temperature based plate* (40°C) dengan nilai uji 39,85mm. Nilai parameter proses optimal untuk diameter luar dan tinggi yaitu *nozzle temperature* (185°C), *layer thickness* (0,20mm), *print speed* (40mm/s), *infill rate* (12%), dan *temperature based plate* (40°C) dengan nilai uji 34,87mm.

#### **5.2 Saran**

Setelah dilakukan penelitian tentang “Optimasi Parameter Proses pada 3D *Printing* FDM terhadap Akurasi Dimensi *Filament* PLA *Food Grade*” ada beberapa saran yang diberikan untuk menunjang penelitian selanjutnya agar dapat lebih baik dari proses hingga hasil yang diperoleh nantinya yaitu:

- a. Untuk penelitian selanjutnya pada parameter proses dapat digunakan parameter lain seperti *infill pattern*, *build orientation*, *fan speed* dan lainnya untuk mengetahui parameter optimal dan perbedaan pengaruh dari hasil produk 3D *printing* yang lebih optimal pada polimer PLA *food grade* CCTREE dan mesin 3D *printing* FDM DIY XYZ A1 180 × 180 × 180.
- b. Pastikan saat proses pencetakan kondisi listrik stabil atau tidak padam agar tidak terjadi pengulangan proses pencetakan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Soejanto, Irawan, (2009), *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*, Yogyakarta : Graha Ilmu.
2. Bert Lauwers, Fritz Klocke, Andreas Klink, A. Erman Tekkaya, Reimund Neugebaure, Don Mcintosh, (2014), “*Hybrid process ini manufacturing*”, *CIRP Annals*, 63(2), 561-583.
3. L. M. Galantucci, I. Bodi, J. Kacani, F. Lavecchia, (2015), “*Analysis of dimensional performance for a 3D open-source printer based on fused deposition Modelling technique*”, *Procedia CIRP*, 28, 82-87.
4. O.S. Carneiro, A.F. Silva, R. Gomes, (2015), “*Fused deposition Modelling with polypropylene*”, *Materials & Design*, 83, 768-776.
5. Stephen T. Newman, Zicheng Zhu, Vimal Dhokia, Alborz Shokrani, (2015), “*Process planning for additive and subtractive manufacturing technologies*”, *CIRP Annals*, 64(1), 467-470.
6. H. Bikas, P. Stavropoulos, G. Chryssolouris, (2016), “*Additive manufacturing methods and modelling approaches: a critical review*”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83(1-4), 389-405.
7. Hadi Miyajani, Shanshan Zhang, Austin Lassell, Amir Ali Zandinejad, and Li Yang, (2016), “*Optimal process parameters for 3D printing of porcelain structures*”, *Procedia Manufacturing*, 5, 870-887.
8. Sobron Lubis, Sofyan Djamil, Yolanda, (2016), “*Pengaruh Orientasi Objek pada Proses 3D Printing Bahan Polymer PLA dan ABS terhadap Kekuatan Tarik dan Ketelitian Dimensi Produk*”, *Sinergi*, 20(1), 27-35.
9. Mohammad S. Alsoufi, Abdulrhman E. Elsayed, (2017), “*How surface roughness performance of printed parts manufactured by desktop FDM 3D printer with PLA+ is influenced by measuring direction*”, *American Journal of Mechanical Engineering*, 5(5), 211-222.
10. Mohsen Attaran, (2017), “*The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing*”, *business Horizons*, 60(5), 677-688.
11. Pedram Parandoush, Dong Lin, (2017), “*A review on additive manufacturing of polymer-fiber composites*”, *Composite Structures*, 182, 36-53.
12. Andik Aris Setiawan, Bayu Wiro Karuniawan, Nurvita Arumsari, (2018), “*Optimasi Parameter 3D Printing Terhadap Keakuratan Dimensi dan Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi Grey Relational Analysis*”. In *Proceedings Conference on Design Manufacture Engineering and its Application* (Vol. 2, No. 1, pp. 165-168).
13. Anggit Prakasa, Setya Permana Sutisna, Anton Royanto Ahmad, (2018), “*Penentuan Setting Optimal 3D Printer Berbasis Fused Deposition Modelling Menggunakan Metode Taguchi*”, *AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 4, no.2, pp. 69-75.
14. Aboma Wagari Gebisa, Hirpa G. Lemu, (2019), “*Influence of 3D printing FDM process parameters on tensile property of ULTEM 9085*”, *Procedia Manufacturing*, 30, 331-338.

15. Benny Haddli Irawan, Rahman Hakim, Hanifah Widiastuti, Domi Kamsyah, Bambang Sahputra, (2019), “Pengaruh Temperatur Nozzle dan Based Plate Pada Mesin Leapfrog Creator 3D Printer Terhadap Density dan Surface Roughness Material ABS”, *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)*, vol.1, no.1.
16. G. D. Goh, Y. L. Yap, H.K. J. Tan, S. L. Sing, G. L. Goh, & W. Y. Yeong, (2019), “Process–structure–properties in polymer additive manufacturing via material extrusion: A review”, *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 45(2), 113-133.
17. Pristiansyah, Hasdiansah, Sugiyarto, (2019), “Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex”, *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, Vol.11, no.01, p-ISSN : 2089-5550 e-ISSN : 2621-3397.
18. Setiawan, Satria Yudha, (2019), Pengaruh Temperature terhadap Kekuatan Tarik Dan Tekan pada Proses Ekstrusi di Mesin *Printer 3D*, *Tugas Akhir Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara Medan*, 4-57.
19. all3dp, *PLA Plastic/Material: All You Need to Know*, diakses 16 September 2020, <<https://all3dp.com/1/pla-plastic-material-polylactic-acid/>>.
20. Hasdiansah, Masdani, Indra Feriadi, Pristiansyah, (2020), “Optimasi Parameter Proses terhadap Akurasi Dimensi PLA Food Grade Menggunakan Metode Taguchi”, *In Prosiding Seminar Nasional NCIET* (Vol.1, No. 1, pp. 175-186).
21. Kyriaki Evangelia Aslani, Konstantinos Kitsakis, John D. Kechagias, Nikolaos M. Vaxevanidis, Dimitrios E. Manolacos, (2020), “On the application of grey Taguchi method for benchmarking the dimensional accuracy of the PLA fused filament fabrication process”, *SN Applied Sciences*, vol. 2, pp. 1-11.
22. Simplify3D, *Ultimate Materials Guide – Tips for 3D Printing with PLA*, diakses 16 September 2020, <<https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/pla/>>.

## Lampiran 1

### DAFTAR RIWAYAT HIDUP

#### 1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Malinda Christiliana  
Tempat/Tanggal Lahir : Sungailiat, 23 Maret 1999  
Jenis Kelamin : Perempuan  
Alamat : Jl. Rasep II No. 516, Desa Karya Makmur,  
Kec. Pemali, Kab. Bangka  
Agama : Islam  
Email : [malinda2399@gmail.com](mailto:malinda2399@gmail.com)

#### 2. Riwayat Pendidikan

SMK Negeri 1 Sungailiat Tahun 2014-2017  
SMP Negeri 1 Sungailiat Tahun 2011-2014  
SD Negeri 9 Pemali Tahun 2005-2011

Sungailiat, Maret 2021



Malinda Christiliana

## Lampiran 2

Tabel 1. Pengukuran Diameter Luar Hasil Data Awal

Exp	Posisi Pengukuran A				Posisi Pengukuran B				Rata-Rata Total
	A1	A2	A3	Rata-Rata	B1	B2	B3	Rata-Rata	
1	29,91	29,93	29,91	<b>29,92</b>	29,97	29,97	29,98	<b>29,97</b>	<b>29,95</b>
2	29,83	29,85	29,84	<b>29,84</b>	30,04	30,05	30,08	<b>30,06</b>	<b>29,95</b>
3	30,17	30,19	30,24	<b>30,20</b>	29,84	29,84	29,89	<b>29,86</b>	<b>30,03</b>
4	29,82	29,81	29,84	<b>29,82</b>	30,16	30,17	30,21	<b>30,18</b>	<b>30,00</b>
5	29,77	30,07	30,05	<b>29,96</b>	29,93	29,95	29,90	<b>29,92</b>	<b>29,94</b>
6	30,00	30,00	29,99	<b>30,00</b>	29,92	29,87	29,92	<b>29,91</b>	<b>29,95</b>
7	29,82	29,80	29,82	<b>29,81</b>	30,07	30,11	30,15	<b>30,11</b>	<b>29,96</b>
8	29,86	29,84	29,84	<b>29,85</b>	30,13	30,16	30,20	<b>30,16</b>	<b>30,01</b>
9	29,77	29,81	29,85	<b>29,81</b>	29,90	29,93	30,00	<b>29,94</b>	<b>29,88</b>
10	30,21	30,24	30,23	<b>30,22</b>	29,89	29,92	29,86	<b>29,89</b>	<b>30,06</b>
11	30,22	30,24	30,24	<b>30,24</b>	29,90	29,90	29,86	<b>29,89</b>	<b>30,06</b>
12	29,89	29,91	29,92	<b>29,90</b>	30,11	30,11	30,15	<b>30,12</b>	<b>30,01</b>
13	29,87	29,88	29,89	<b>29,88</b>	30,07	30,08	30,18	<b>30,11</b>	<b>29,99</b>
14	29,85	29,82	29,83	<b>29,83</b>	30,16	30,22	30,21	<b>30,20</b>	<b>30,02</b>
15	29,83	29,83	29,80	<b>29,82</b>	30,12	30,14	30,16	<b>30,14</b>	<b>29,98</b>
16	29,82	29,89	29,83	<b>29,85</b>	29,98	30,04	30,05	<b>30,02</b>	<b>29,93</b>
17	29,94	29,97	29,98	<b>29,96</b>	29,93	29,93	30,01	<b>29,96</b>	<b>29,96</b>
18	29,76	29,83	29,84	<b>29,81</b>	29,91	29,96	30,00	<b>29,96</b>	<b>29,88</b>
19	30,12	30,14	30,16	<b>30,14</b>	29,89	29,86	29,88	<b>29,88</b>	<b>30,01</b>
20	30,09	30,11	30,19	<b>30,13</b>	29,83	29,83	29,87	<b>29,84</b>	<b>29,99</b>
21	29,85	29,88	29,83	<b>29,85</b>	30,19	30,21	30,19	<b>30,19</b>	<b>30,02</b>
22	30,13	30,11	30,09	<b>30,11</b>	29,92	29,94	29,89	<b>29,92</b>	<b>30,01</b>
23	29,87	29,88	29,93	<b>29,89</b>	30,16	30,19	30,21	<b>30,19</b>	<b>30,04</b>
24	30,08	30,08	30,13	<b>30,10</b>	29,93	29,96	29,94	<b>29,94</b>	<b>30,02</b>
25	29,89	29,93	29,98	<b>29,93</b>	29,99	30,02	30,04	<b>30,02</b>	<b>29,98</b>
26	29,93	29,98	29,98	<b>29,96</b>	29,91	29,98	29,95	<b>29,95</b>	<b>29,95</b>
27	29,97	29,96	29,97	<b>29,97</b>	29,92	29,91	29,92	<b>29,92</b>	<b>29,94</b>

Tabel 2. Pengukuran Diameter Luar Hasil Replikasi 1

Exp	Posisi Pengukuran A				Posisi Pengukuran B			Rata-Rata	Rata Total
	A1	A2	A3	Rata-Rata	B1	B2	B3		
1	29,84	29,88	29,88	<b>29,87</b>	30,04	30,03	30,09	<b>30,05</b>	<b>29,96</b>
2	29,94	29,95	29,95	<b>29,95</b>	29,89	29,93	29,93	<b>29,92</b>	<b>29,93</b>
3	29,88	29,88	29,93	<b>29,90</b>	30,11	30,11	30,19	<b>30,14</b>	<b>30,02</b>
4	29,89	29,90	29,88	<b>29,89</b>	30,07	30,09	30,11	<b>30,09</b>	<b>29,99</b>
5	29,81	29,85	29,80	<b>29,82</b>	30,06	30,08	30,11	<b>30,09</b>	<b>29,95</b>
6	29,89	29,91	29,93	<b>29,91</b>	29,99	30,01	30,01	<b>30,00</b>	<b>29,96</b>
7	30,00	30,02	30,04	<b>30,02</b>	29,89	29,93	29,89	<b>29,90</b>	<b>29,96</b>
8	29,86	29,84	29,87	<b>29,85</b>	30,10	30,13	30,19	<b>30,14</b>	<b>30,00</b>
9	29,76	29,74	29,79	<b>29,76</b>	30,11	30,12	30,17	<b>30,13</b>	<b>29,95</b>
10	29,70	29,93	29,94	<b>29,86</b>	30,05	30,05	30,09	<b>30,06</b>	<b>29,96</b>
11	30,20	30,20	30,21	<b>30,20</b>	29,87	29,89	29,87	<b>29,88</b>	<b>30,04</b>
12	29,91	29,91	29,91	<b>29,91</b>	30,13	30,07	30,10	<b>30,10</b>	<b>30,01</b>
13	29,81	29,81	29,84	<b>29,82</b>	30,09	30,15	30,21	<b>30,15</b>	<b>29,99</b>
14	29,81	29,80	29,83	<b>29,82</b>	30,18	30,22	30,22	<b>30,21</b>	<b>30,01</b>
15	29,84	29,85	29,84	<b>29,84</b>	30,02	30,07	30,08	<b>30,05</b>	<b>29,95</b>
16	30,03	30,01	30,03	<b>30,02</b>	29,92	29,95	29,92	<b>29,93</b>	<b>29,98</b>
17	29,79	29,81	29,82	<b>29,81</b>	30,18	30,22	30,24	<b>30,21</b>	<b>30,01</b>
18	29,94	29,96	30,13	<b>30,01</b>	29,86	29,83	29,85	<b>29,85</b>	<b>29,93</b>
19	29,93	29,95	29,96	<b>29,95</b>	30,00	29,96	30,02	<b>30,00</b>	<b>29,97</b>
20	29,88	29,94	29,92	<b>29,91</b>	30,05	30,12	30,15	<b>30,11</b>	<b>30,01</b>
21	29,85	29,85	29,78	<b>29,83</b>	30,21	30,22	30,21	<b>30,21</b>	<b>30,02</b>
22	29,92	29,91	29,95	<b>29,93</b>	29,97	30,00	30,04	<b>30,00</b>	<b>29,97</b>
23	29,92	29,95	29,95	<b>29,94</b>	29,96	30,01	30,03	<b>30,00</b>	<b>29,97</b>
24	29,80	29,81	29,83	<b>29,81</b>	30,13	30,15	30,23	<b>30,17</b>	<b>29,99</b>
25	30,01	30,01	30,07	<b>30,03</b>	29,82	29,87	29,91	<b>29,87</b>	<b>29,95</b>
26	29,75	29,77	29,78	<b>29,77</b>	30,06	30,09	30,10	<b>30,08</b>	<b>29,93</b>
27	29,90	29,93	29,96	<b>29,93</b>	29,96	29,95	29,98	<b>29,96</b>	<b>29,95</b>



Tabel 3. Pengukuran Diameter Luar Hasil Replikasi 2

Exp	Posisi Pengukuran A				Posisi Pengukuran B				Rata-Rata Total
	A1	A2	A3	Rata-Rata	B1	B2	B3	Rata-Rata	
1	29,79	29,84	29,79	<b>29,81</b>	30,16	30,22	30,18	<b>30,19</b>	<b>30,00</b>
2	30,17	30,20	30,19	<b>30,19</b>	29,82	29,81	29,77	<b>29,80</b>	<b>29,99</b>
3	29,89	29,93	29,87	<b>29,90</b>	30,10	30,14	30,14	<b>30,13</b>	<b>30,01</b>
4	29,92	29,94	29,94	<b>29,93</b>	29,95	29,97	30,00	<b>29,98</b>	<b>29,95</b>
5	29,83	29,84	29,83	<b>29,83</b>	30,01	30,03	30,02	<b>30,02</b>	<b>29,93</b>
6	29,84	29,85	29,80	<b>29,83</b>	30,17	30,18	30,21	<b>30,19</b>	<b>30,01</b>
7	29,81	29,78	29,79	<b>29,79</b>	30,15	30,19	30,22	<b>30,18</b>	<b>29,99</b>
8	30,14	30,15	30,19	<b>30,16</b>	29,83	29,78	29,82	<b>29,81</b>	<b>29,99</b>
9	29,95	29,96	30,01	<b>29,97</b>	29,88	29,84	29,82	<b>29,85</b>	<b>29,91</b>
10	29,89	29,89	29,83	<b>29,87</b>	30,21	30,20	30,25	<b>30,22</b>	<b>30,05</b>
11	29,90	29,86	29,87	<b>29,87</b>	30,16	30,17	30,17	<b>30,17</b>	<b>30,02</b>
12	29,97	29,98	30,02	<b>29,99</b>	29,96	29,96	29,98	<b>29,97</b>	<b>29,98</b>
13	30,14	30,19	30,19	<b>30,17</b>	29,83	29,81	29,84	<b>29,83</b>	<b>30,00</b>
14	29,90	29,94	29,94	<b>29,93</b>	29,99	29,99	29,99	<b>29,99</b>	<b>29,96</b>
15	29,81	29,77	29,76	<b>29,78</b>	30,20	30,23	30,21	<b>30,21</b>	<b>30,00</b>
16	29,88	29,88	29,81	<b>29,85</b>	30,10	30,14	30,21	<b>30,15</b>	<b>30,00</b>
17	29,78	29,81	29,80	<b>29,80</b>	30,18	30,20	30,25	<b>30,21</b>	<b>30,00</b>
18	29,71	29,78	29,76	<b>29,75</b>	30,09	30,14	30,16	<b>30,13</b>	<b>29,94</b>
19	30,15	30,16	30,13	<b>30,15</b>	29,88	29,88	29,87	<b>29,88</b>	<b>30,01</b>
20	29,77	29,83	29,81	<b>29,80</b>	30,14	30,21	30,25	<b>30,20</b>	<b>30,00</b>
21	30,20	30,23	30,22	<b>30,21</b>	29,87	29,86	29,80	<b>29,84</b>	<b>30,03</b>
22	29,86	29,85	29,82	<b>29,84</b>	30,18	30,17	30,20	<b>30,18</b>	<b>30,01</b>
23	29,82	29,88	29,87	<b>29,86</b>	30,03	30,07	30,10	<b>30,07</b>	<b>29,96</b>
24	29,80	29,89	29,92	<b>29,87</b>	30,14	30,16	30,22	<b>30,17</b>	<b>30,02</b>
25	29,81	29,88	29,88	<b>29,86</b>	29,97	30,00	30,02	<b>30,00</b>	<b>29,93</b>
26	29,76	29,78	29,78	<b>29,77</b>	30,12	30,14	30,15	<b>30,14</b>	<b>29,95</b>
27	29,94	29,94	29,97	<b>29,95</b>	29,92	29,90	29,93	<b>29,92</b>	<b>29,94</b>

Tabel 4. Pengukuran Tinggi

Exp	Data Awal				Replikasi 1				Replikasi 2				Rata-Rata Total
	Posisi 1	Posisi 2	Posisi 3	Rata-Rata	Posisi 1	Posisi 2	Posisi 3	Rata-Rata	Posisi 1	Posisi 2	Posisi 3	Rata-Rata	
1	39,94	39,98	39,92	<b>39,94</b>	39,89	39,97	39,96	<b>39,94</b>	39,97	39,96	39,82	<b>39,92</b>	<b>39,93</b>
2	39,95	40,00	39,95	<b>39,97</b>	39,97	39,99	39,98	<b>39,98</b>	39,95	40,01	39,99	<b>39,98</b>	<b>39,98</b>
3	39,86	39,96	39,97	<b>39,93</b>	39,94	39,98	39,91	<b>39,94</b>	39,96	39,97	39,94	<b>39,96</b>	<b>39,94</b>
4	39,92	39,98	39,89	<b>39,93</b>	39,94	40,00	39,94	<b>39,96</b>	39,95	40,01	39,96	<b>39,97</b>	<b>39,95</b>
5	39,99	40,05	40,01	<b>40,02</b>	40,02	40,04	40,03	<b>40,03</b>	40,02	40,04	40,05	<b>40,04</b>	<b>40,03</b>
6	39,98	40,01	39,98	<b>39,99</b>	40,01	40,00	40,02	<b>40,01</b>	40,02	40,02	40,01	<b>40,02</b>	<b>40,01</b>
7	39,83	39,91	39,81	<b>39,85</b>	39,86	39,91	39,86	<b>39,88</b>	39,83	39,90	39,86	<b>39,86</b>	<b>39,86</b>
8	39,88	39,92	39,86	<b>39,89</b>	39,89	39,96	39,92	<b>39,93</b>	39,89	39,94	39,94	<b>39,92</b>	<b>39,91</b>
9	39,84	39,88	39,83	<b>39,85</b>	39,87	39,87	39,87	<b>39,87</b>	39,86	39,91	39,87	<b>39,88</b>	<b>39,87</b>
10	39,99	40,02	39,99	<b>40,00</b>	39,98	40,02	39,99	<b>40,00</b>	39,99	40,03	39,99	<b>40,00</b>	<b>40,00</b>
11	39,97	40,00	40,00	<b>39,99</b>	39,97	40,00	39,98	<b>39,98</b>	39,97	40,01	39,99	<b>39,99</b>	<b>39,99</b>
12	39,79	39,85	39,80	<b>39,81</b>	39,81	39,82	39,81	<b>39,81</b>	39,80	39,84	39,83	<b>39,82</b>	<b>39,81</b>
13	39,98	40,03	39,95	<b>39,99</b>	40,00	40,01	40,01	<b>40,01</b>	39,99	40,04	40,00	<b>40,01</b>	<b>40,00</b>
14	39,89	39,97	39,92	<b>39,92</b>	39,92	39,93	39,94	<b>39,93</b>	39,94	39,95	39,96	<b>39,95</b>	<b>39,93</b>
15	39,88	39,95	39,91	<b>39,91</b>	39,92	39,90	39,92	<b>39,92</b>	39,90	39,90	39,94	<b>39,91</b>	<b>39,91</b>
16	39,87	39,95	39,86	<b>39,89</b>	39,85	39,94	39,89	<b>39,89</b>	39,92	39,94	39,91	<b>39,92</b>	<b>39,90</b>
17	39,84	39,86	39,84	<b>39,85</b>	39,85	39,86	39,84	<b>39,85</b>	39,85	39,84	39,83	<b>39,84</b>	<b>39,85</b>
18	39,74	39,76	39,74	<b>39,75</b>	39,76	39,77	39,76	<b>39,76</b>	39,80	39,79	39,79	<b>39,79</b>	<b>39,77</b>
19	40,00	39,98	39,93	<b>39,97</b>	39,94	39,97	39,96	<b>39,96</b>	39,91	39,98	39,97	<b>39,95</b>	<b>39,96</b>
20	39,76	39,78	39,78	<b>39,77</b>	39,72	39,77	39,73	<b>39,74</b>	39,75	39,78	39,76	<b>39,76</b>	<b>39,76</b>

21	39,75	39,81	39,79	<b>39,78</b>	39,79	39,79	39,80	<b>39,79</b>	39,79	39,77	39,77	<b>39,77</b>	<b>39,78</b>
22	39,99	40,03	39,99	<b>40,00</b>	40,02	40,02	40,01	<b>40,02</b>	40,00	40,04	40,01	<b>40,02</b>	<b>40,01</b>
23	39,98	39,98	39,91	<b>39,96</b>	39,99	39,98	39,98	<b>39,98</b>	39,98	40,00	39,99	<b>39,99</b>	<b>39,98</b>
24	39,83	39,87	39,92	<b>39,87</b>	39,87	39,88	39,88	<b>39,88</b>	39,88	39,89	39,91	<b>39,89</b>	<b>39,88</b>
25	39,80	39,88	39,82	<b>39,83</b>	39,79	39,86	39,81	<b>39,82</b>	39,83	39,88	39,82	<b>39,84</b>	<b>39,83</b>
26	39,87	39,93	39,87	<b>39,89</b>	39,90	39,94	39,90	<b>39,92</b>	39,92	39,93	39,91	<b>39,92</b>	<b>39,91</b>
27	39,83	39,86	39,92	<b>39,87</b>	39,88	39,89	39,88	<b>39,88</b>	39,88	39,91	39,90	<b>39,90</b>	<b>39,88</b>

---

Tabel 5. Pengukuran Diameter Luar dan Tinggi

Exp	Data Awal			Replikasi 1			Replikasi 2			Rata-Rata Total
	Diameter Luar	Tinggi	Rata-Rata	Diameter Luar	Tinggi	Rata-Rata	Diameter Luar	Tinggi	Rata-Rata	
1	29,95	39,94	<b>34,95</b>	29,96	39,94	<b>34,95</b>	30,00	39,92	<b>34,96</b>	<b>34,95</b>
2	29,95	39,97	<b>34,96</b>	29,93	39,98	<b>34,96</b>	29,99	39,98	<b>34,99</b>	<b>34,97</b>
3	30,03	39,93	<b>34,98</b>	30,02	39,94	<b>34,98</b>	30,01	39,96	<b>34,99</b>	<b>34,98</b>
4	30,00	39,93	<b>34,97</b>	29,99	39,96	<b>34,98</b>	29,95	39,97	<b>34,96</b>	<b>34,97</b>
5	29,94	40,02	<b>34,98</b>	29,95	40,03	<b>34,99</b>	29,93	40,04	<b>34,99</b>	<b>34,99</b>
6	29,95	39,99	<b>34,97</b>	29,96	40,01	<b>34,99</b>	30,01	40,02	<b>35,02</b>	<b>34,99</b>
7	29,96	39,85	<b>34,91</b>	29,96	39,88	<b>34,92</b>	29,99	39,86	<b>34,93</b>	<b>34,92</b>
8	30,01	39,89	<b>34,95</b>	30,00	39,93	<b>34,97</b>	29,99	39,92	<b>34,96</b>	<b>34,96</b>
9	29,88	39,85	<b>34,87</b>	29,95	39,87	<b>34,91</b>	29,91	39,88	<b>34,90</b>	<b>34,89</b>
10	30,06	40,00	<b>35,03</b>	29,96	40,00	<b>34,98</b>	30,05	40,00	<b>35,03</b>	<b>35,01</b>
11	30,06	39,99	<b>35,03</b>	30,04	39,98	<b>35,01</b>	30,02	39,99	<b>35,01</b>	<b>35,01</b>
12	30,01	39,81	<b>34,91</b>	30,01	39,81	<b>34,91</b>	29,98	39,82	<b>34,90</b>	<b>34,91</b>
13	29,99	39,99	<b>34,99</b>	29,99	40,01	<b>35,00</b>	30,00	40,01	<b>35,01</b>	<b>35,00</b>
14	30,02	39,92	<b>34,97</b>	30,01	39,93	<b>34,97</b>	29,96	39,95	<b>34,96</b>	<b>34,97</b>
15	29,98	39,91	<b>34,95</b>	29,95	39,92	<b>34,94</b>	30,00	39,91	<b>34,96</b>	<b>34,95</b>
16	29,93	39,89	<b>34,91</b>	29,95	39,89	<b>34,92</b>	30,00	39,92	<b>34,96</b>	<b>34,93</b>
17	29,96	39,85	<b>34,91</b>	30,01	39,85	<b>34,93</b>	30,00	39,84	<b>34,92</b>	<b>34,92</b>
18	29,88	39,75	<b>34,82</b>	29,93	39,76	<b>34,85</b>	29,94	39,79	<b>34,87</b>	<b>34,84</b>
19	30,01	39,97	<b>34,99</b>	29,97	39,96	<b>34,97</b>	30,01	39,95	<b>34,98</b>	<b>34,98</b>
20	29,99	39,77	<b>34,88</b>	30,01	39,74	<b>34,88</b>	30,00	39,76	<b>34,88</b>	<b>34,88</b>

21	30,02	39,78	<b>34,90</b>	30,02	39,79	<b>34,91</b>	30,03	39,77	<b>34,90</b>	<b>34,90</b>
22	30,01	40,00	<b>35,01</b>	29,97	40,02	<b>35,00</b>	30,01	40,02	<b>35,02</b>	<b>35,01</b>
23	30,04	39,96	<b>35,00</b>	29,97	39,98	<b>34,98</b>	29,96	39,99	<b>34,98</b>	<b>34,98</b>
24	30,02	39,87	<b>34,95</b>	29,99	39,88	<b>34,94</b>	30,02	39,89	<b>34,96</b>	<b>34,95</b>
25	29,98	39,83	<b>34,91</b>	29,95	39,82	<b>34,89</b>	29,93	39,84	<b>34,89</b>	<b>34,89</b>
26	29,95	39,89	<b>34,92</b>	29,93	39,92	<b>34,93</b>	29,95	39,92	<b>34,94</b>	<b>34,93</b>
27	29,94	39,87	<b>34,91</b>	29,95	39,88	<b>34,92</b>	29,94	39,90	<b>34,92</b>	<b>34,91</b>

---

### Lampiran 3

#### 1. Perhitungan S/N Ratio Larger the Better dari Respon Akurasi Dimensi Diameter Luar

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

dimana:

n = jumlah pengulangan

y = data dari percobaan

Pada eksperimen ke 1:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{29,95^2} + \frac{1}{29,96^2} + \frac{1}{30,00^2} \right) \right) = 29,53374$$

Pada eksperimen ke 2:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{29,95^2} + \frac{1}{29,93^2} + \frac{1}{29,99^2} \right) \right) = 29,52987$$

Pada eksperimen ke 3:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{30,03^2} + \frac{1}{30,02^2} + \frac{1}{30,01^2} \right) \right) = 29,54821$$

Pada eksperimen ke 4:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{30,00^2} + \frac{1}{29,99^2} + \frac{1}{29,95^2} \right) \right) = 29,53663$$

Pada eksperimen ke 5:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{29,94^2} + \frac{1}{29,95^2} + \frac{1}{29,93^2} \right) \right) = 29,52504$$

Pada eksperimen ke 6:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{29,95^2} + \frac{1}{29,96^2} + \frac{1}{30,01^2} \right) \right) = 29,53470$$

Pada eksperimen ke 7:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{29,96^2} + \frac{1}{29,96^2} + \frac{1}{29,99^2} \right) \right) = 29,53374$$

Pada eksperimen ke 8:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{30,01^2} + \frac{1}{30,00^2} + \frac{1}{29,99^2} \right) \right) = 29,54243$$

Pada eksperimen ke 9:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{29,88^2} + \frac{1}{29,95^2} + \frac{1}{29,91^2} \right) \right) = 29,51730$$

Pada eksperimen ke 10:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{30,06^2} + \frac{1}{29,96^2} + \frac{1}{30,05^2} \right) \right) = 29,54919$$

Pada eksperimen ke 11:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{30,06^2} + \frac{1}{30,04^2} + \frac{1}{30,02^2} \right) \right) = 29,55400$$

Pada eksperimen ke 12:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{30,01^2} + \frac{1}{30,01^2} + \frac{1}{29,98^2} \right) \right) = 29,54243$$

Pada eksperimen ke 13:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{29,89^2} + \frac{1}{29,99^2} + \frac{1}{30,00^2} \right) \right) = 29,54049$$

Pada eksperimen ke 14:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{30,02^2} + \frac{1}{30,01^2} + \frac{1}{29,96^2} \right) \right) = 29,54146$$

Pada eksperimen ke 15:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{29,98^2} + \frac{1}{29,95^2} + \frac{1}{30,00^2} \right) \right) = 29,53567$$

Pada eksperimen ke 16:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{29,93^2} + \frac{1}{29,95^2} + \frac{1}{30,00^2} \right) \right) = 29,53084$$

Pada eksperimen ke 17:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{29,96^2} + \frac{1}{30,01^2} + \frac{1}{30,00^2} \right) \right) = 29,53953$$

Pada eksperimen ke 18:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{29,88^2} + \frac{1}{29,93^2} + \frac{1}{29,94^2} \right) \right) = 29,51827$$

Pada eksperimen ke 19:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{2} \left( \frac{1}{30,01^2} + \frac{1}{29,97^2} + \frac{1}{30,01^2} \right) \right) = 29,54146$$

Pada eksperimen ke 20:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{29,99^2} + \frac{1}{30,01^2} + \frac{1}{30,00^2} \right) \right) = 29,54243$$

Pada eksperimen ke 21:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{30,02^2} + \frac{1}{30,02^2} + \frac{1}{30,03^2} \right) \right) = 29,54918$$

Pada eksperimen ke 22:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{30,01^2} + \frac{1}{29,97^2} + \frac{1}{30,01^2} \right) \right) = 29,54146$$

Pada eksperimen ke 23:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{30,04^2} + \frac{1}{29,97^2} + \frac{1}{29,96^2} \right) \right) = 29,53954$$

Pada eksperimen ke 24:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{30,02^2} + \frac{1}{29,99^2} + \frac{1}{30,02^2} \right) \right) = 29,54532$$

Pada eksperimen ke 25:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{29,98^2} + \frac{1}{29,95^2} + \frac{1}{29,93^2} \right) \right) = 29,52891$$

Pada eksperimen ke 26:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{29,95^2} + \frac{1}{29,93^2} + \frac{1}{29,95^2} \right) \right) = 29,52600$$

Pada eksperimen ke 27:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{29,94^2} + \frac{1}{29,95^2} + \frac{1}{29,94^2} \right) \right) = 29,52600$$

## 2. Perhitungan S/N Ratio Larger the Better dari Respon Akurasi Dimensi Tinggi

Pada eksperimen ke 1:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,94^2} + \frac{1}{39,94^2} + \frac{1}{39,92^2} \right) \right) = 32,02671$$

Pada eksperimen ke 2:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,97^2} + \frac{1}{39,98^2} + \frac{1}{39,98^2} \right) \right) = 32,03613$$

Pada eksperimen ke 3:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,93^2} + \frac{1}{39,94^2} + \frac{1}{39,96^2} \right) \right) = 32,02889$$

Pada eksperimen ke 4:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,93^2} + \frac{1}{39,96^2} + \frac{1}{39,97^2} \right) \right) = 32,03106$$

Pada eksperimen ke 5:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{40,02^2} + \frac{1}{40,03^2} + \frac{1}{40,04^2} \right) \right) = 32,04771$$



Pada eksperimen ke 6:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,99^2} + \frac{1}{40,01^2} + \frac{1}{40,02^2} \right) \right) = 32,04265$$

Pada eksperimen ke 7:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,85^2} + \frac{1}{39,88^2} + \frac{1}{39,86^2} \right) \right) = 32,01147$$

Pada eksperimen ke 8:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,89^2} + \frac{1}{39,93^2} + \frac{1}{39,92^2} \right) \right) = 32,02236$$

Pada eksperimen ke 9:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,85^2} + \frac{1}{39,87^2} + \frac{1}{39,88^2} \right) \right) = 32,01220$$

Pada eksperimen ke 10:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{40,00^2} + \frac{1}{40,00^2} + \frac{1}{40,00^2} \right) \right) = 32,04120$$

Pada eksperimen ke 11:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,99^2} + \frac{1}{39,98^2} + \frac{1}{39,99^2} \right) \right) = 32,03830$$

Pada eksperimen ke 12:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,81^2} + \frac{1}{39,81^2} + \frac{1}{39,82^2} \right) \right) = 32,00057$$

Pada eksperimen ke 13:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,99^2} + \frac{1}{40,01^2} + \frac{1}{40,01^2} \right) \right) = 32,04192$$

Pada eksperimen ke 14:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,92^2} + \frac{1}{39,93^2} + \frac{1}{39,95^2} \right) \right) = 32,02671$$

Pada eksperimen ke 15:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,91^2} + \frac{1}{39,92^2} + \frac{1}{39,91^2} \right) \right) = 32,02236$$

Pada eksperimen ke 16:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,89^2} + \frac{1}{39,89^2} + \frac{1}{39,92^2} \right) \right) = 32,01946$$

Pada eksperimen ke 17:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,85^2} + \frac{1}{39,85^2} + \frac{1}{39,84^2} \right) \right) = 32,00784$$

Pada eksperimen ke 18:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,75^2} + \frac{1}{39,76^2} + \frac{1}{39,79^2} \right) \right) = 31,99038$$

Pada eksperimen ke 19:

$$S/N = - 10 \log \left( \frac{1}{2} \left( \frac{1}{39,97^2} + \frac{1}{39,96^2} + \frac{1}{39,95^2} \right) \right) = 32,03251$$

Pada eksperimen ke 20:

$$S/N = - 10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,77^2} + \frac{1}{39,74^2} + \frac{1}{39,76^2} \right) \right) = 31,98820$$

Pada eksperimen ke 21:

$$S/N = - 10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,78^2} + \frac{1}{39,79^2} + \frac{1}{39,77^2} \right) \right) = 31,99330$$

Pada eksperimen ke 22:

$$S/N = - 10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{40,00^2} + \frac{1}{40,02^2} + \frac{1}{40,02^2} \right) \right) = 32,04409$$

Pada eksperimen ke 23:

$$S/N = - 10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,96^2} + \frac{1}{39,98^2} + \frac{1}{39,99^2} \right) \right) = 32,03613$$

Pada eksperimen ke 24:

$$S/N = - 10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,87^2} + \frac{1}{39,88^2} + \frac{1}{39,89^2} \right) \right) = 32,01510$$

Pada eksperimen ke 25:

$$S/N = - 10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,83^2} + \frac{1}{39,82^2} + \frac{1}{39,84^2} \right) \right) = 32,00421$$

Pada eksperimen ke 26:

$$S/N = - 10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,89^2} + \frac{1}{39,92^2} + \frac{1}{39,92^2} \right) \right) = 32,02164$$

Pada eksperimen ke 27:

$$S/N = - 10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{39,87^2} + \frac{1}{39,88^2} + \frac{1}{39,90^2} \right) \right) = 32,01583$$

### 3. Perhitungan S/N Ratio Larger the Better dari Respon Akurasi Dimensi Diameter Luar dan Tinggi

Pada eksperimen ke 1:

$$S/N = - 10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,95^2} + \frac{1}{34,95^2} + \frac{1}{34,96^2} \right) \right) = 30,86977$$

Pada eksperimen ke 2:

$$S/N = - 10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,96^2} + \frac{1}{34,96^2} + \frac{1}{34,99^2} \right) \right) = 30,87391$$

Pada eksperimen ke 3:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,98^2} + \frac{1}{34,98^2} + \frac{1}{34,99^2} \right) \right) = 30,87722$$

Pada eksperimen ke 4:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,97^2} + \frac{1}{34,98^2} + \frac{1}{34,96^2} \right) \right) = 30,87391$$

Pada eksperimen ke 5:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,98^2} + \frac{1}{34,99^2} + \frac{1}{34,99^2} \right) \right) = 30,87805$$

Pada eksperimen ke 6:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,97^2} + \frac{1}{34,99^2} + \frac{1}{35,02^2} \right) \right) = 30,87971$$

Pada eksperimen ke 7:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,91^2} + \frac{1}{34,92^2} + \frac{1}{34,93^2} \right) \right) = 30,86148$$

Pada eksperimen ke 8:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,95^2} + \frac{1}{34,97^2} + \frac{1}{34,96^2} \right) \right) = 30,87143$$

Pada eksperimen ke 9:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,87^2} + \frac{1}{34,91^2} + \frac{1}{34,90^2} \right) \right) = 30,85485$$

Pada eksperimen ke 10:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{35,03^2} + \frac{1}{34,98^2} + \frac{1}{35,03^2} \right) \right) = 30,88467$$

Pada eksperimen ke 11:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{35,03^2} + \frac{1}{35,01^2} + \frac{1}{35,01^2} \right) \right) = 30,88550$$

Pada eksperimen ke 12:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,91^2} + \frac{1}{34,91^2} + \frac{1}{34,90^2} \right) \right) = 30,85817$$

Pada eksperimen ke 13:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,99^2} + \frac{1}{35,00^2} + \frac{1}{35,01^2} \right) \right) = 30,88136$$

Pada eksperimen ke 14:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,97^2} + \frac{1}{34,97^2} + \frac{1}{34,96^2} \right) \right) = 30,87308$$

Pada eksperimen ke 15:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,95^2} + \frac{1}{34,94^2} + \frac{1}{34,96^2} \right) \right) = 30,86894$$

Pada eksperimen ke 16:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,91^2} + \frac{1}{34,92^2} + \frac{1}{34,96^2} \right) \right) = 30,86397$$

Pada eksperimen ke 17:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,91^2} + \frac{1}{34,93^2} + \frac{1}{34,92^2} \right) \right) = 30,86148$$

Pada eksperimen ke 18:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,82^2} + \frac{1}{34,85^2} + \frac{1}{34,87^2} \right) \right) = 30,84323$$

Pada eksperimen ke 19:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{2} \left( \frac{1}{34,99^2} + \frac{1}{34,97^2} + \frac{1}{34,98^2} \right) \right) = 30,87640$$

Pada eksperimen ke 20:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,88^2} + \frac{1}{34,88^2} + \frac{1}{34,88^2} \right) \right) = 30,85153$$

Pada eksperimen ke 21:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,90^2} + \frac{1}{34,91^2} + \frac{1}{34,90^2} \right) \right) = 30,85734$$

Pada eksperimen ke 22:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{35,01^2} + \frac{1}{35,00^2} + \frac{1}{35,02^2} \right) \right) = 30,88384$$

Pada eksperimen ke 23:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{35,00^2} + \frac{1}{34,98^2} + \frac{1}{34,98^2} \right) \right) = 30,87805$$

Pada eksperimen ke 24:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,95^2} + \frac{1}{34,94^2} + \frac{1}{34,96^2} \right) \right) = 30,86894$$

Pada eksperimen ke 25:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,91^2} + \frac{1}{34,89^2} + \frac{1}{34,89^2} \right) \right) = 30,85568$$

Pada eksperimen ke 26:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,92^2} + \frac{1}{34,93^2} + \frac{1}{34,94^2} \right) \right) = 30,86397$$

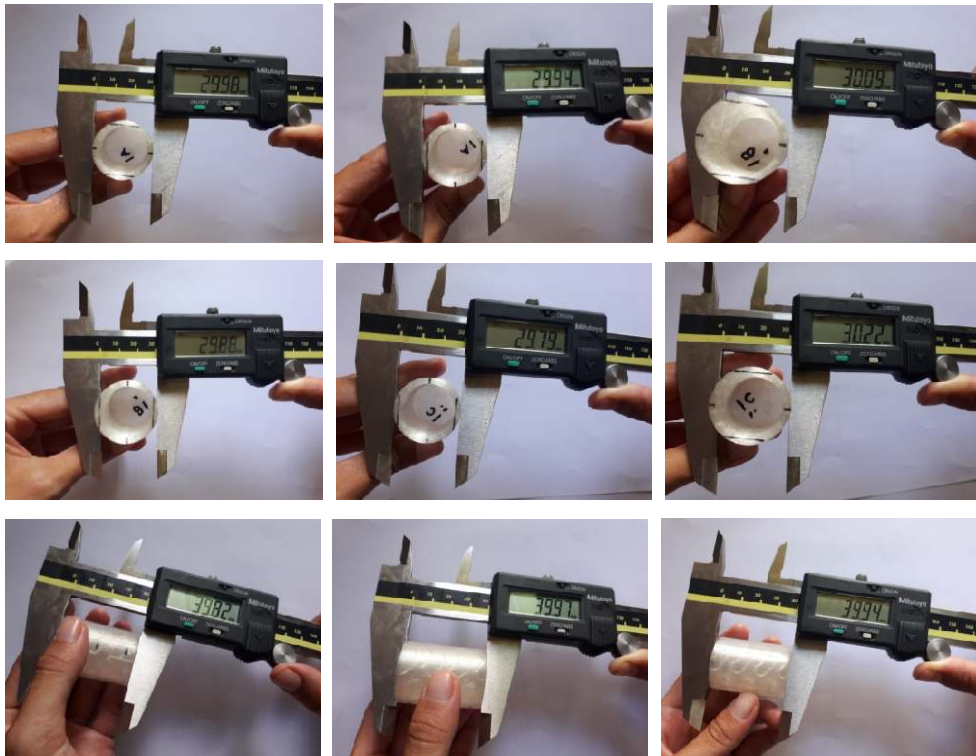
Pada eksperimen ke 27:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{34,91^2} + \frac{1}{34,92^2} + \frac{1}{34,92^2} \right) \right) = 30,86066$$

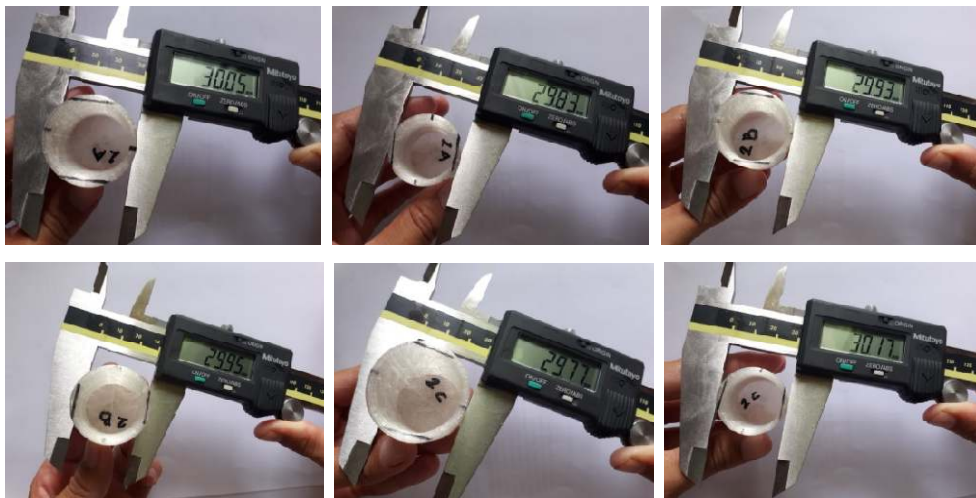
## Lampiran 4

### Proses Pengukuran Dimensi Spesimen

#### 1. Eksperimen 1



#### 2. Eksperimen 2





### 3. Eksperimen 3

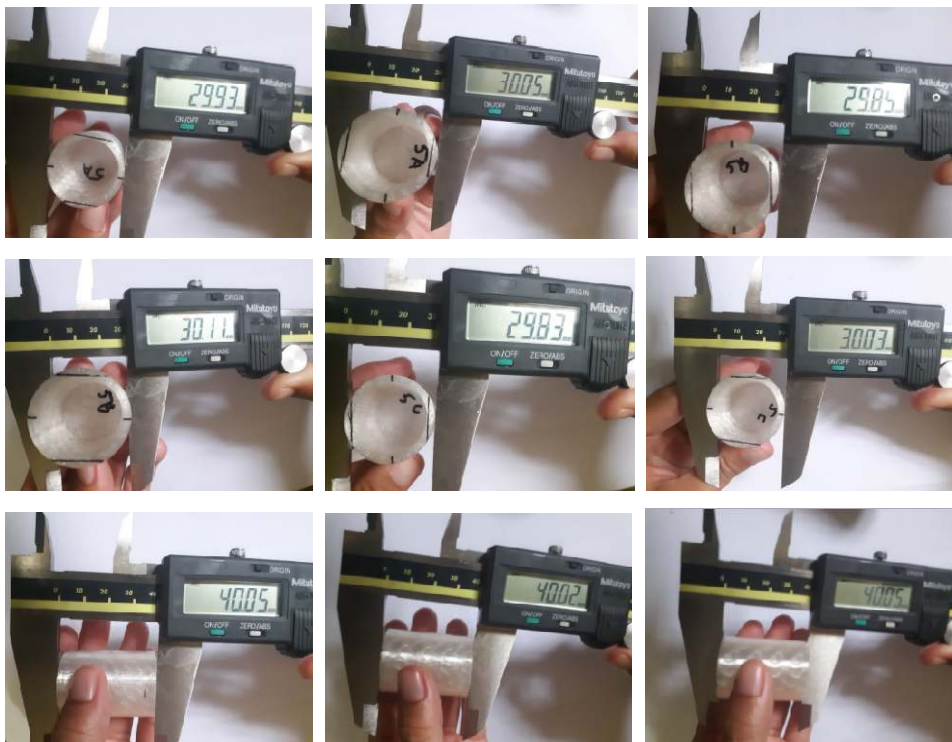


### 4. Eksperimen 4

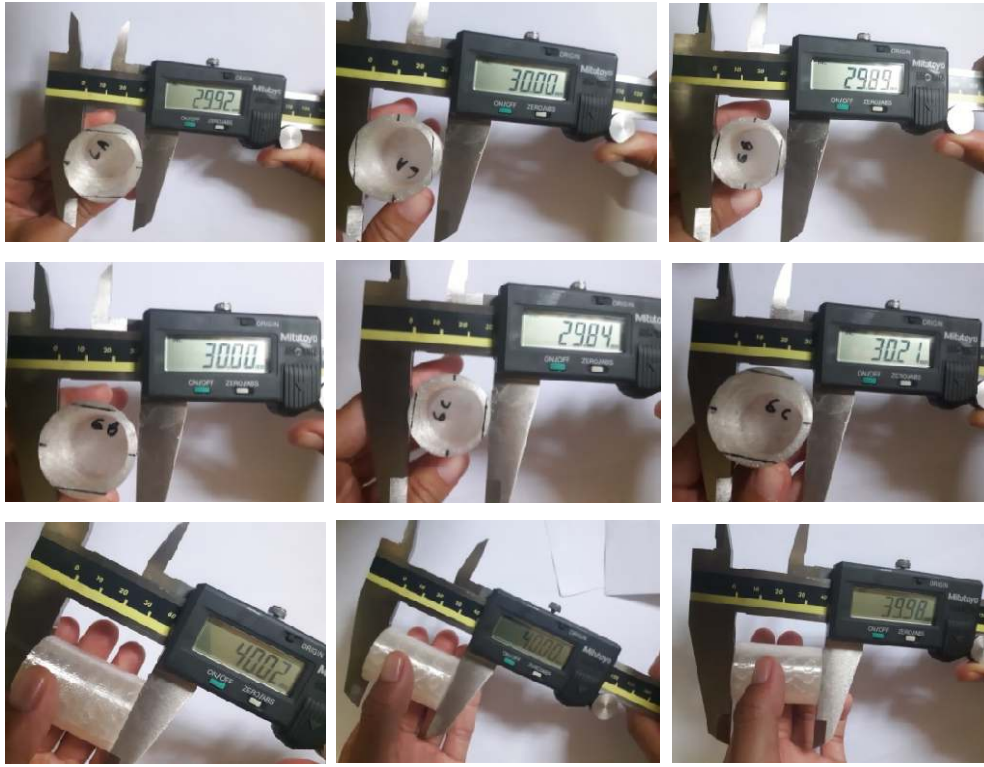




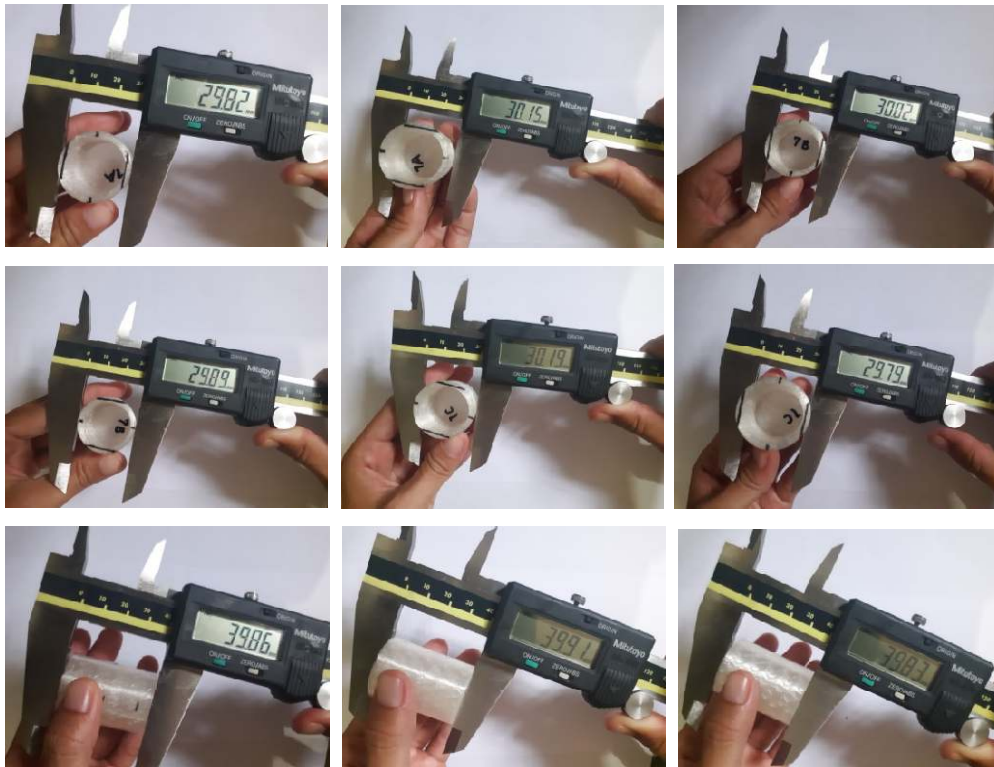
## 5. Eksperimen 5



## 6. Eksperimen 6



## 7. Eksperimen 7

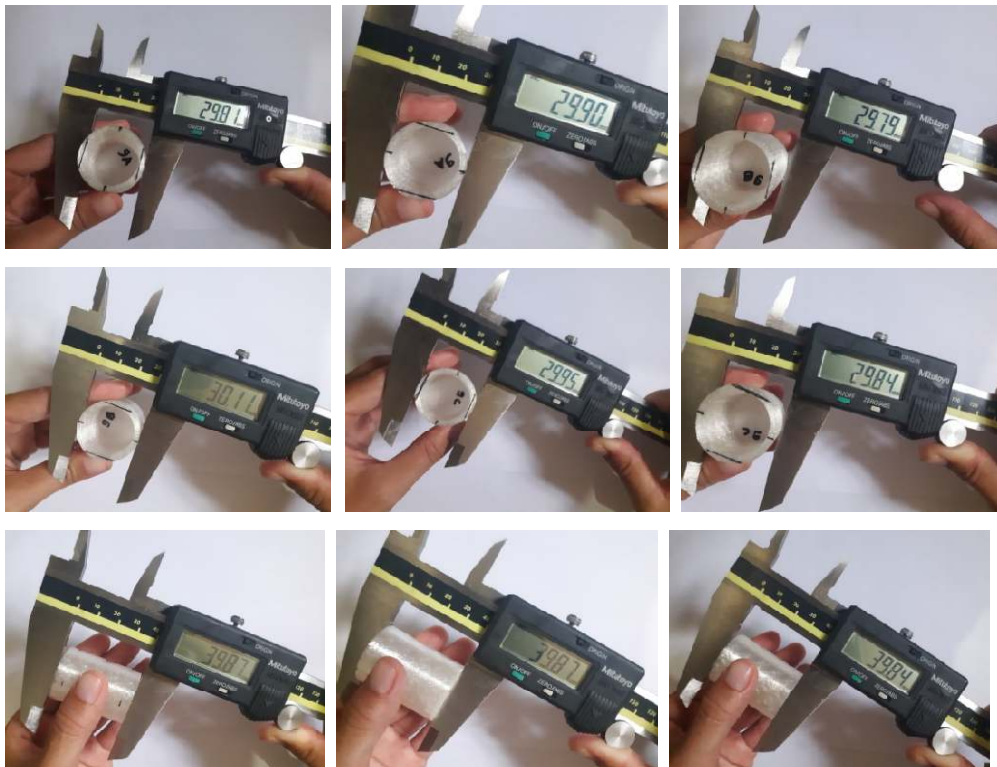




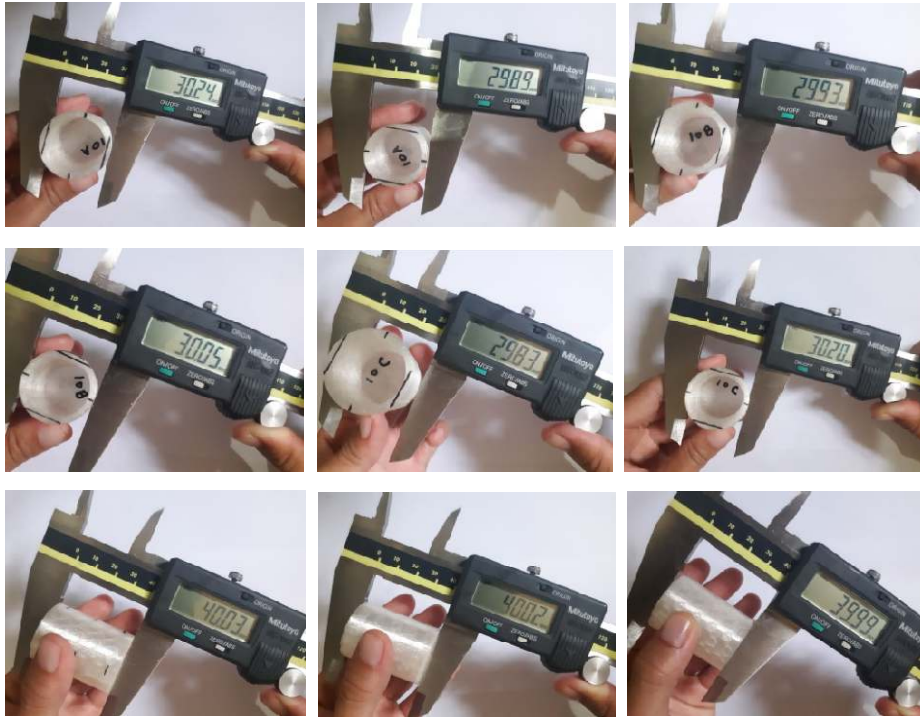
## 8. Eksperimen 8



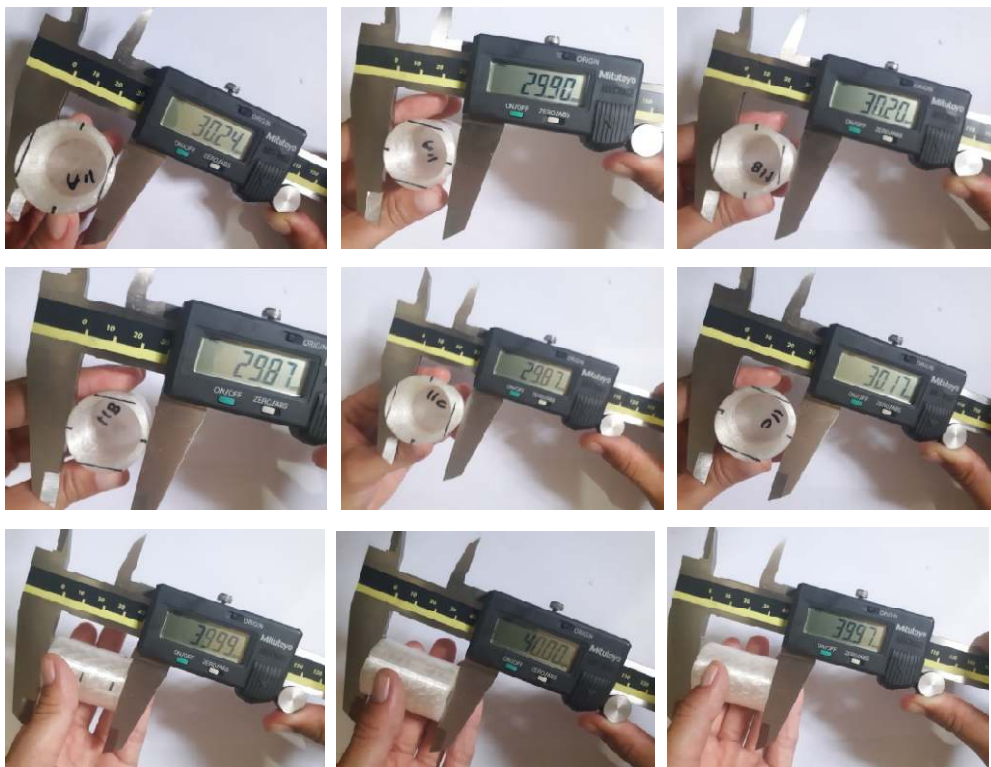
## 9. Eksperimen 9



## 10. Eksperimen 10



## 11. Eksperimen 11



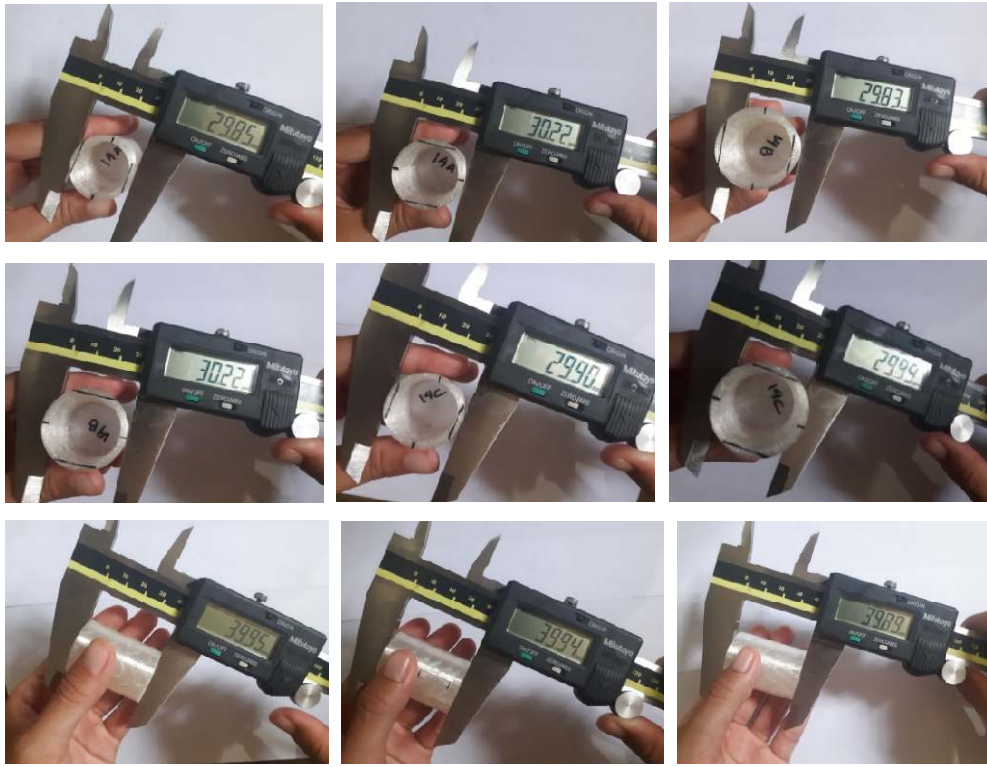
## 12. Eksperimen 12



## 13. Eksperimen 13



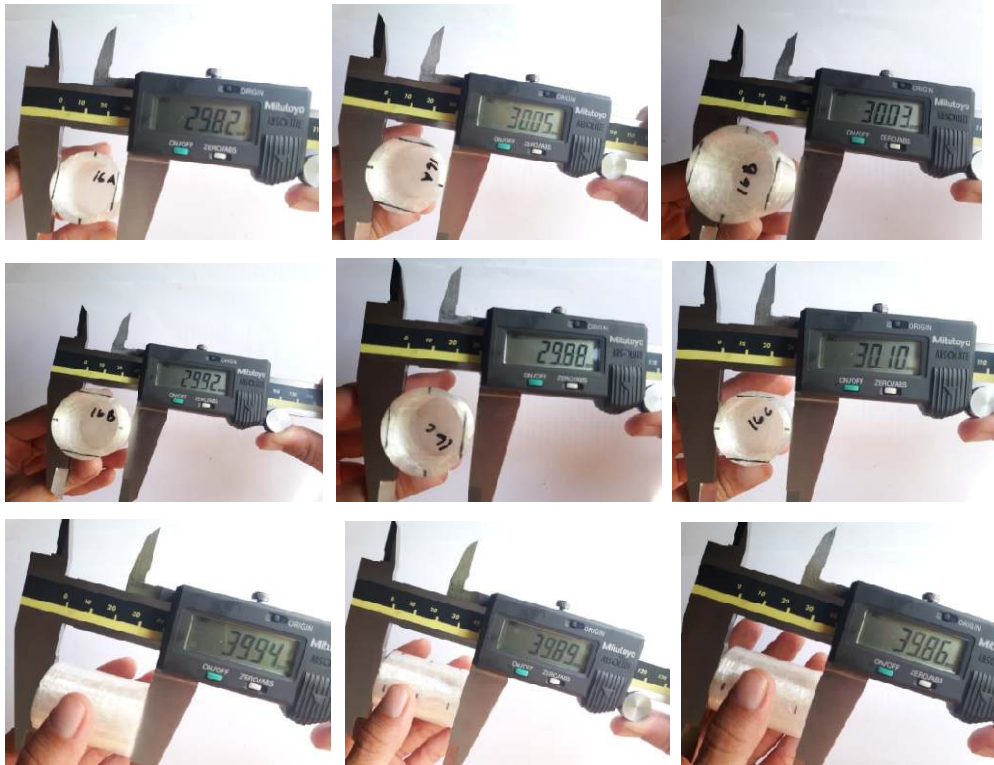
#### 14. Eksperimen 14



#### 15. Eksperimen 15



## 16. Eksperimen 16



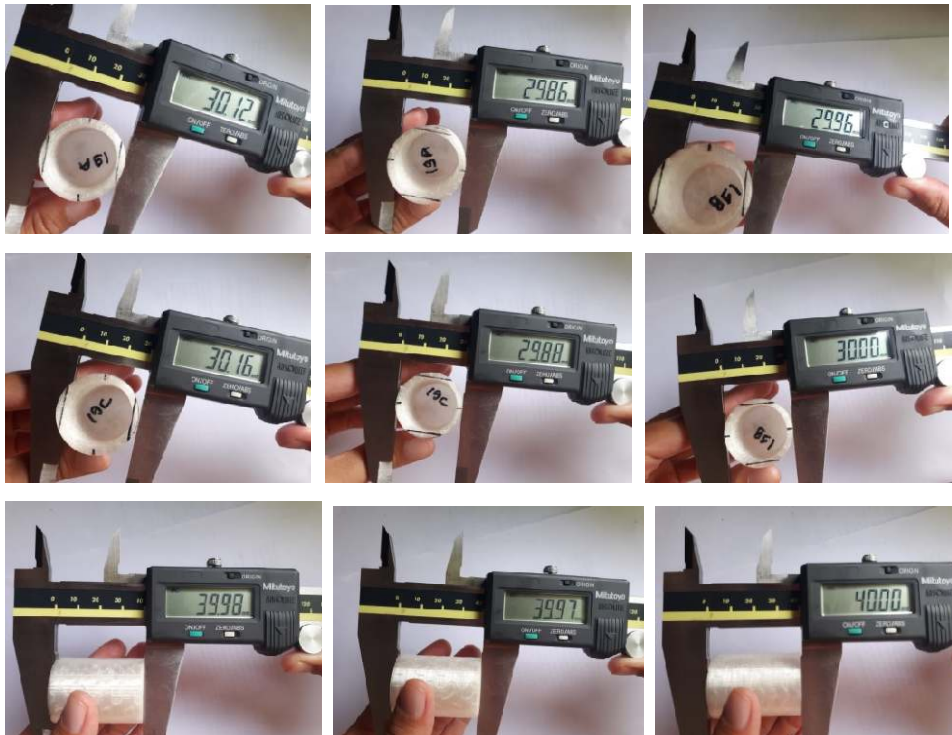
## 17. Eksperimen 17



## 18. Eksperimen 18



## 19. Eksperimen 19



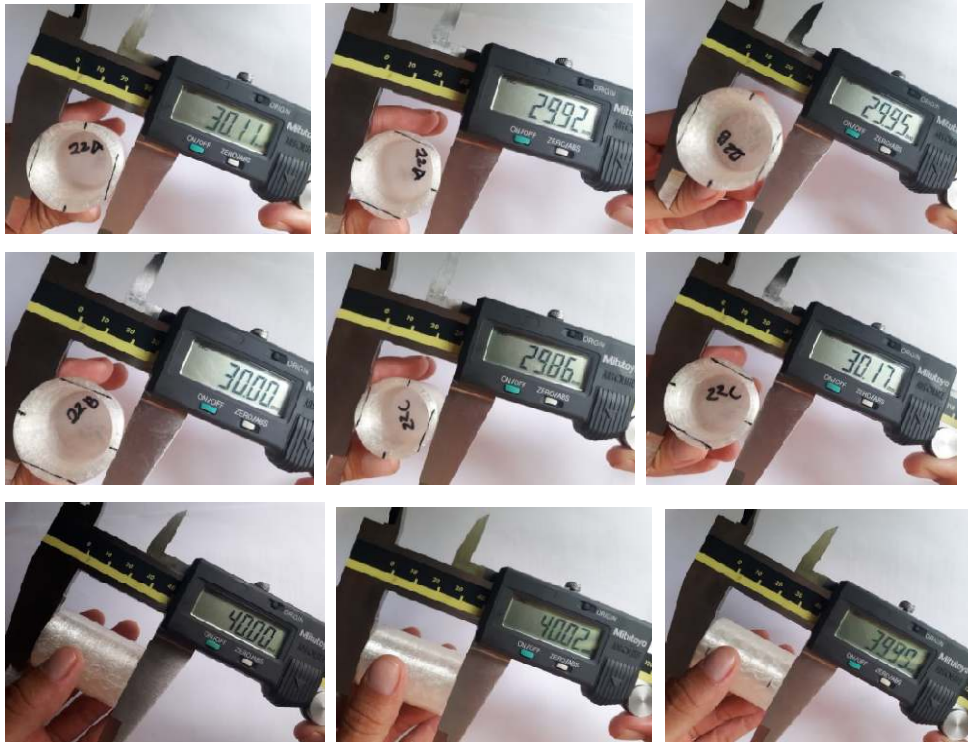
## 20. Eksperimen 20



## 21. Eksperimen 21



## 22. Eksperimen 22

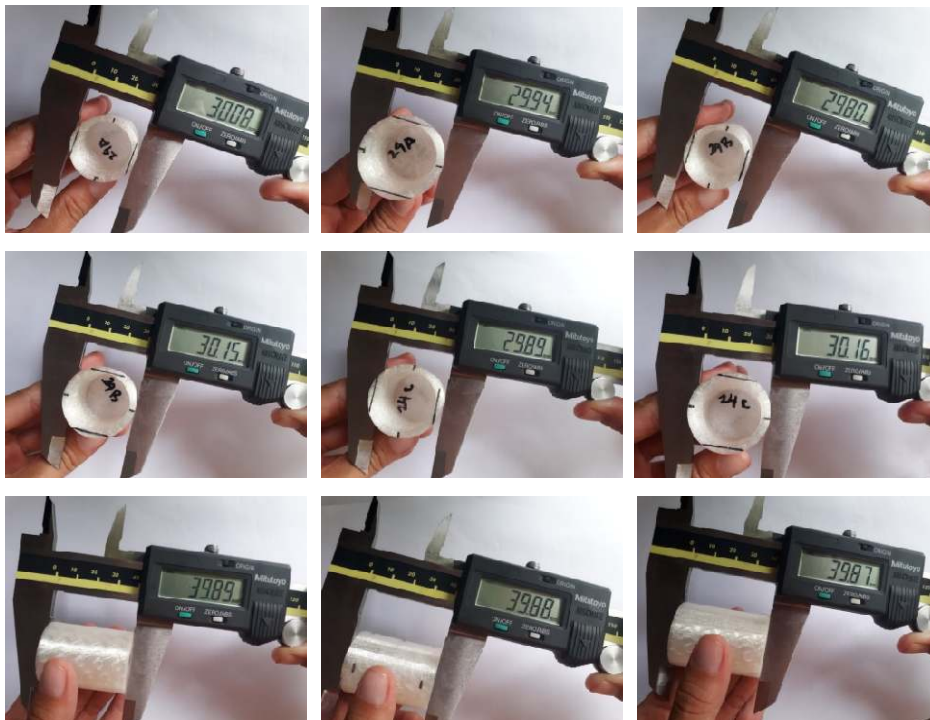


## 23. Eksperimen 23





## 24. Eksperimen 24



## 25. Eksperimen 25



## 26. Eksperimen 26



## 27. Eksperimen 27

