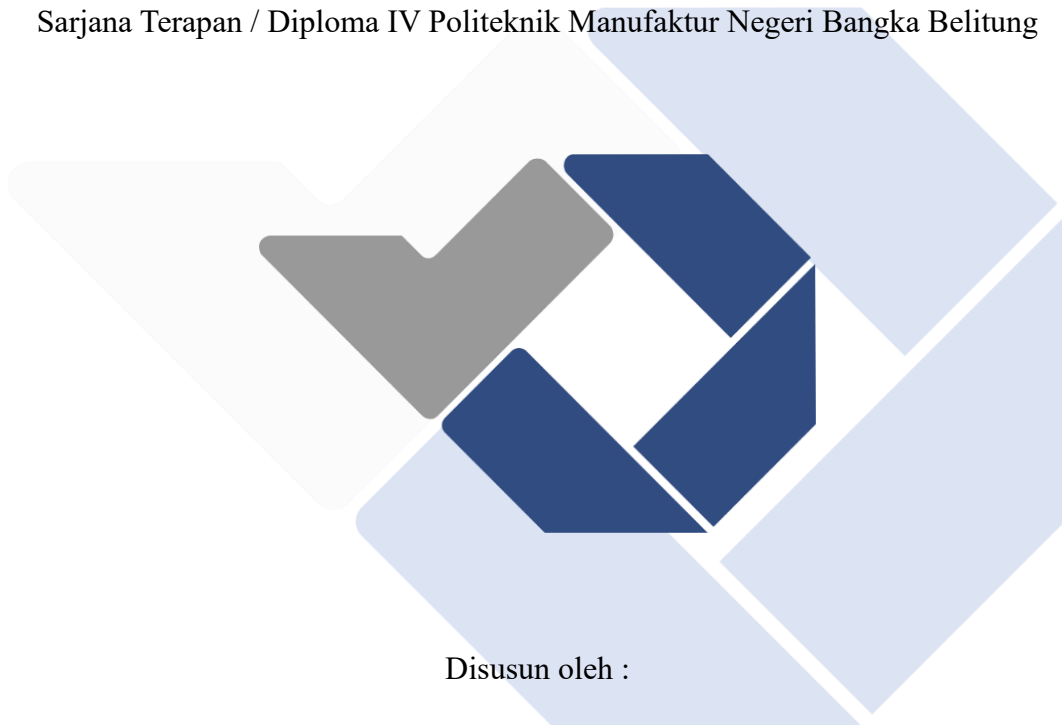


**PENGARUH SUHU DAN KECEPATAN PUTARAN MESIN  
PEMBUAT FILAMEN *3D PRINTING* DARI KEMASAN  
MINERAL TERHADAP HASIL FILAMEN  
MENGUNAKAN UJI TARIK**

**PROYEK AKHIR**

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



Disusun oleh :

Azora Esysa Abinda NIM : 1042108

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI**

**BANGKA BELITUNG**

**2024**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH SUHU DAN KECEPATAN PUTARAN MESIN PEMBUAT  
FILAMEN 3D PRINTING DARI KEMASAN MINERAL TERHADAP  
HASIL FILAMEN MENGGUNAKAN UJI TARIK**

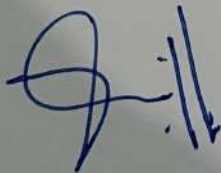
Oleh :

Azora Esya Abinda / 1042108

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

Menyetujui,

Pembimbing 1



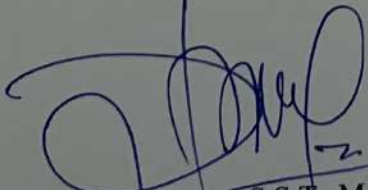
Pristiansyah, S.S.T., M.Eng.

Pembimbing 2



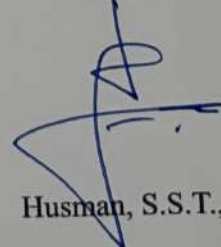
Boy Rollastin, S.Tr., M.T.

Penguji 1



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

Penguji 2



Husman, S.S.T., M.T.

## PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Azora Esya Abinda      NIM : 1042108

Dengan Judul : Pengaruh Suhu dan Kecepatan Putaran Mesin Pembuat Filamen  
*3D Printing* Dari Kemasan Mineral Terhadap Hasil Filamen Menggunakan Uji  
Tarik

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

Sungailiat, 28 Juli 2024

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

Azora Esya Abinda

## ABSTRAK

*Sampah plastik menjadi jenis sampah yang memiliki potensi menimbulkan dampak bagi lingkungan. Jenis plastik yang sering ditemukan adalah plastik PET (Polyethylene terephthalate), yang biasa digunakan untuk kemasan air mineral. Dengan berbagai upaya daur ulang sampah plastik, pemanfaatan teknologi menjadi salah satu solusi yang dapat diterapkan. Teknologi 3D Printer menggunakan material plastik atau termoplastik sebagai bahan cetaknya atau biasa disebut sebagai filament. Botol plastik jenis PET memiliki sifat termoplastik dan mudah meleleh, sehingga memungkinkan pemanfaatan teknologi 3D Printing untuk mendaur ulang sampah plastik. Penelitian ini berfokus pada pembuatan filamen dari kemasan mineral dengan tujuan untuk melakukan analisis kekuatan tarik pada material PET dan menentukan parameter optimum serta pengaruh parameter mesin pembuat filamen. Parameter yang digunakan yaitu suhu dan kecepatan putaran motor stepper dan dicetak menggunakan mesin 3D printer Model Haltech H-01 Cartesian serta untuk spesimen pengujian menggunakan standar ASTM D-638 tipe IV. Penelitian ini menggunakan taguchi  $L_4$  dengan 2 faktor dan 2 level yang mencetak 12 spesimen uji. Sehingga diperoleh nilai tertinggi pada pengujian kekuatan tarik pada percobaan nomor 3 sebesar 56,9 MPa, nilai terendah pada percobaan nomor 4 sebesar 49,7 MPa. Sedangkan untuk hasil perhitungan S/N rasio faktor yang paling berpengaruh secara berurutan Kecepatan Putaran Motor Stepper (18 Rpm) dan Suhu (220°C).*

*Kata Kunci : Sampah Plastik, PET, Filament, 3D Printing, Uji Tarik*

## **ABSTRACT**

*Plastic waste is a type of waste that has the potential to cause an impact on the environment. The type of plastic that is often found is PET (Polyethylene terephthalate) plastic, which is commonly used for mineral water packaging. With various efforts to recycle plastic waste, the use of technology is one solution that can be applied. 3D Printer technology uses plastic or thermoplastic material as the printing material or commonly referred to as filament. PET plastic bottles have thermoplastic properties and melt easily, making it possible to utilize 3D Printing technology to recycle plastic waste. This research focuses on making filament from mineral packaging with the aim of analyzing the tensile strength of PET material and determining the optimum parameters and the effect of filament making machine parameters. The parameters used are temperature and stepper motor rotation speed and printed using a Haltech H-01 Cartesian Model 3D printer machine and for testing specimens using ASTM D-638 type IV standards. This study uses Taguchi  $L_4$  with 2 factors and 2 levels that print 12 test specimens. So that the highest value was obtained in the tensile strength test in experiment number 3 of 56.9 MPa, the lowest value in experiment number 4 of 49.7 MPa. As for the results of the calculation of the S/N ratio, the most influential factors are in order Stepper Motor Rotation Speed (18 Rpm) and Temperature (220 °C).*

*Keywords: Plastic Waste, PET, Filament, 3D Printing, Tensile Test*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas ke hadirat Allah Swt. yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan proyek akhir ini.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan penyusunan laporan proyek akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak baik langsung maupun tidak langsung. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu, Ayah, Abang dan Adik tersayang beserta keluarga yang telah mendukung dan memberikan doa tiada henti kepada penulis dari segi apapun.
2. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng, selaku dosen pembimbing 1 dan Ketua Jurusan, yang telah memberikan bantuan, arahan, bimbingan dan saran sampai penulis menyelesaikan penelitian.
3. Bapak Boy Rollastin S.Tr., M.T, selaku dosen pembimbing 2 dan Ketua Program Studi, yang telah membantu, memberikan bimbingan dan arahan dalam pelaksanaan penelitian.
4. Bapak Yulianto, S.S.T., M.T, yang telah membantu dan mengajari selama proses pengujian tarik.
5. Bapak Zaldy S. Suzen, S.S.T., M.T. selaku penguji 1
6. Bapak Husman, S.S.T., M.T. selaku penguji 2
7. Aristiansyah Nugraha, Wahyudi, Khairun Nisah, Destinca Amaylia Tanjung, dan Ismi Tri Utami yang memberikan semangat dan membantu penulis selama mengerjakan penelitian.
8. Seluruh dosen dan staff kampus Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung
9. Seluruh pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu khususnya dibidang *3D Printing*.

Sungailiat, 28 Juli 2024

Penulis



Azora Esysa Abinda

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	3
1.3    Batasan Masalah.....	4
1.4    Tujuan.....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b> .....	<b>5</b>
2.1    3D Printer .....	5
2.1.1.  Parameter 3D Printer.....	5
2.2 <i>Filament</i> 3D Printer.....	7
2.3    PET (Polyethylene Terephthalate) .....	10
2.4    Uji Tarik .....	12
2.1    Metode Taguchi.....	13
2.2    Desain Eksperimen <i>Taguchi</i> .....	13
2.3    Tahap Analisis .....	17
2.4    Minitab .....	18
2.5    Penelitian Sebelumnya .....	19
<b>BAB III METODE PELAKSANAAN</b> .....	<b>21</b>

3.1	Studi Literatur .....	23
3.2	Persiapan Alat dan Bahan.....	24
3.3	Penentuan Parameter .....	29
3.3.1	Design Of Experiment (DoE) .....	29
3.3.2	Penentuan Faktor dan Level Eksperimen.....	30
3.3.3	Pemilihan Matriks Orthogonal.....	30
3.3.4	Pelaksanaan Eksperimen.....	31
3.3.5	Pengambilan Data .....	39
3.3.6	Pengolahan Data.....	39
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>40</b>
4.1	Pengambilan Data Hasil Eksperimen.....	40
4.2	Pengolahan Data Hasil Eksperimen.....	41
4.3	Perhitungan Rasio S/N terhadap Respon .....	47
4.4	Kontribusi.....	48
4.5	Uji Konfirmasi .....	49
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>50</b>
5.1	Kesimpulan.....	50
5.2	Saran.....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>51</b>
<b>LAMPIRAN 1.....</b>		<b>54</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Physical Properties PET .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3. 1 Spesifikasi Mesin Pembuat Filament 3D Printing .....	24
Tabel 3. 2 Parameter Proses Penelitian .....	30
Tabel 3. 3 Derajat Kebebasan.....	30
Tabel 3. 4 Desain Taguchi Orthogonal Array L4 .....	31
Tabel 3. 5 Desain Faktorial Penelitian .....	31
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik.....	40
Tabel 4. 2 Response Table for Means .....	46
Tabel 4. 3 Parameter Proses yang Paling Berpengaruh.....	46
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Rasio S/N.....	48
Tabel 4. 5 Analysis Of Variance .....	48
Tabel 4. 6 Perbandingan Hasil Kombinasi Awal dan Kombinasi Optimum .....	49

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Mesin 3D Printing (Dokumentasi Pribadi, 13 Juni 2024).....	7
Gambar 2. 2 Kode Jenis Plastik .....	11
Gambar 2. 3 Contoh Pengujian Tarik.....	12
Gambar 2. 4 Standar Ukuran ASTM D638-IV Type 4 .....	13
Gambar 2. 5 Notasi Matrik Orthogonal .....	15
Gambar 3. 1 Flowchart.....	23
Gambar 3. 2 Flowchart (Lanjutan).....	23
Gambar 3. 3 Mesin Pembuat Filament 3D Printing.....	24
Gambar 3. 4 Alat Pompa Kemasan Mineral .....	25
Gambar 3. 5 Alat Pemotong Strip Kemasan Mineral.....	25
Gambar 3. 6 Mesin 3D Printing Model Haltech H-01 Cartesian.....	26
Gambar 3. 7 Alat Uji Tarik.....	26
Gambar 3. 8 Laptop.....	27
Gambar 3. 9 Software Solidworks 2021 .....	27
Gambar 3. 10 Software Ultimaker Cura 5.7.0 .....	28
Gambar 3. 11 Tampilan pada Software Minitab 19 .....	28
Gambar 3. 12 Kemasan Mineral Jenis PET .....	29
Gambar 3. 13 Proses Pompa dan Pemanasan Botol.....	32
Gambar 3. 14 Proses Pemotongan Botol Menjadi Strip .....	33
Gambar 3. 15 Proses Pemotongan Strip.....	33
Gambar 3. 16 Proses Memasukkan Strip ke Nozzle .....	34
Gambar 3. 17 Proses Pengaturan Suhu Saat Strip Masuk ke Nozzle.....	34
Gambar 3. 18 Proses Pengikatan Filament ke Tali Penggulungan.....	35
Gambar 3. 19 Proses Pembuatan Filament .....	35
Gambar 3. 20 Desain Spesimen .....	36
Gambar 3. 21 Proses Pemasangan Filament .....	37

Gambar 3. 22 Proses Menghidupkan Mesin .....	37
Gambar 3. 23 Proses Pengaturan Parameter .....	38
Gambar 3. 24 Proses 3D Printing Spesimen .....	38
Gambar 3. 25 Pengujian Kekuatan Tarik .....	39
Gambar 4. 1 Hasil Uji Tarik Spesimen .....	40
Gambar 4. 2 Tampilan Worksheet pada Minitab.....	41
Gambar 4. 3 Tampilan Taguchi Design.....	42
Gambar 4. 4 Tampilan Design.....	42
Gambar 4. 5 Tampilan Factor.....	43
Gambar 4. 6 Halaman Worksheet Desain Faktorial L9 .....	43
Gambar 4. 7 Tampilan Analyze Taguchi Design.....	44
Gambar 4. 8 Tampilan Analyze Taguchi Design Graphs .....	44
Gambar 4. 9 Tampilan Analyze Taguchi Design Analysis.....	45
Gambar 4. 10 Tampilan Analyze Taguchi Design Options .....	45
Gambar 4. 11 Grafik Mean Plot .....	46
Gambar 4. 12 Grafik S/N Rasio .....	47

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Biodata Penulis

Lampiran 2 Hasil Uji Tarik



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Plastik adalah salah satu komoditi yang sering ditemukan di kehidupan sehari-hari. Banyak peralatan rumah tangga serta kemasan makanan dan minuman yang menggunakan plastik sebagai bahan utama. Salah satu alasan mengapa terdapat banyak produk yang berasal dari plastik karena plastik adalah bahan yang mudah didapatkan dan mudah diolah serta harganya yang terjangkau. Dengan produksi plastik yang tinggi tentunya dapat menyebabkan sampah plastik yang terus bertambah. Sampah plastik menjadi jenis sampah yang memiliki potensi menimbulkan dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan jika belum dikelola dengan benar karena sifatnya tidak mudah terurai dan menghasilkan mikroplastik. Banyaknya sampah yang dihasilkan oleh kegiatan manusia yaitu sampah organik mencakup 60-70%, sementara sisanya, sebesar 30-40%, adalah sampah non-organik. Di dalam sampah non-organik, jenis sampah terbanyak kedua adalah sampah plastik yang mencapai 14%. (Faustine & Ika, 2022)

Terdapat berbagai macam jenis sampah plastik yaitu PET (*Polyethylene terephthalate*), HDPE (*High Density Polyethylene*), PVC (*Polyvinyl chloride*), LDPE (*Low Density Polyethylene*), PP (*Polypropylene*), PS (*Polystyrene*), OTHER. PET (*Polyethylene*). Jenis plastik yang sering kali kita temukan adalah plastik jenis PET (*Polyethylene terephthalate*). Jenis plastik ini juga biasa digunakan untuk kemasan air mineral. Adapun beberapa kelebihan dari plastik jenis PET yaitu dapat dimanfaatkan menjadi banyak macam produk yang mempunyai nilai ekonomis seperti produk *filament*, mainan, *furniture*, dan *souvenir* yang tentunya harus melalui proses daur ulang (Taufik, Lubis, & Ivanto, 2023), ini juga merupakan salah satu tindakan yang bisa mengurangi sampah plastik sekaligus memanfaatkan sampah plastik.

Berdasarkan Undang-undang nomor 18 tahun 2008 pasal 20 tentang pengurangan sampah sebagaimana dimaksud pada pasal 19 huruf a meliputi kegiatan pembatasan timbulan sampah, pendauran ulang sampah, dan pemanfaatan kembali sampah. Salah satu implementasinya adalah dengan mendaur ulang (*Recycle*) kemasan minuman plastik jenis PET (*Polyethylene terephthalate*) menjadi *filament 3D Printing*. Botol plastik jenis PET ini dipilih karena keunggulannya yang beragam diantaranya memiliki sifat termoplastik dan mudah meleleh sehingga mudah dibentuk kembali bersifat elastis itulah alasan utama mengapa PET menjadi bahan yang ideal, khususnya sebagai bahan cetak untuk objek *3D* menggunakan mesin *3D* printer (Witek-Krowiak, 2020).

Teknologi *3D Printing* menggunakan material plastik atau termoplastik. Cara kerjanya melibatkan pemanasan *filament* dan mencetaknya lapis demi lapis untuk membentuk objek 3 dimensi (Febriansyah, Anggry, & Pristiansyah, 2022). Lapisan material yang digunakan untuk membuat objek 3 Dimensi disebut *filament*. Terdapat berbagai jenis bahan dasar *filament* untuk *3D Printing* untuk pengujian antara lain; *Polyacticacid* (PLA); *Nylon*, *High Density Polyethylene* (HDPE); *Poly Carbonate* (PC); *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS); *Acrylonitrile Stryrene Acrylate* (ASA) (Saputra, Suzen, & Pristiansyah, 2023).

Salah satu elemen utama dalam proses *3D Printing* adalah *filament*, yang berperan sebagai bahan pengisi cetakan (Avriansah, Erwanto, & Pristiansyah, 2022) namun, harga *filament* yang digunakan masih tergolong cukup mahal. Saat ini, harga *filament* standar berbahan PLA atau ABS berkisar antara 282-424 ribu rupiah per 1 kg gulungan di pasaran global (R.Mahfud, Y.Setyoadi, & A.Burhanudin, 2020). Maka dari itu, agar dapat menghemat biaya pembelian *filament* salah satu caranya adalah memanfaatkan proses daur ulang kemasan mineral yang berjenis plastik PET menjadi *filament 3D printing*.

Mesin pembuatan *filament* ini akan memproses kemasan mineral plastik dengan cara memotong kemasan botol plastik menjadi strip kemudian melewati blok pemanasan dan dibentuk menjadi *filament* serta digulung seperti gulungan *filament* pada umumnya dengan pengaturan suhu dan kecepatan sesuai dengan suhu yang

dibutuhkan jenis kemasan mineral. Plastik jenis PET ini memiliki titik leleh pada 250-260°C, suhu transisi gelas 67-81°C dan terdekomposisi pada suhu 480 °C.

Penelitian yang dilakukan oleh (Santoso, Rekayasa Mesin Pembuat Filamen Dari Sampah Botol PET Untuk 3D Printing, 2022) menggunakan 3 variasi suhu yaitu 180°C, 190°C, dan 200°C. Pada suhu 180°C hasil *filament* masih belum berbentuk bulat, pada suhu 190°C hasil *filament* sudah mulai berbentuk bulat, pada suhu 200°C sudah berbentuk bulat. Kemudian dilakukan uji *printing* pada mesin 3D printer dengan menggunakan pengaturan suhu *nozzle* 260°C, suhu meja 50°C, dan waktu cetak selama 17 menit. Dengan hasil, pada 180°C masih ditemukan lubang yang cukup banyak dan permukaan masih kasar, pada suhu 190°C lubang terlihat lebih sedikit dari suhu sebelumnya dan permukaan sudah cukup halus, pada suhu 200°C lubang pada hasil tidak banyak terlihat dan permukaan sudah lebih halus dibandingkan dengan 2 suhu sebelumnya. Penelitian yang dilakukan oleh (Taufik, Lubis, & Ivanto, 2023) menggunakan suhu 205°C, dan kecepatan penarikan 30 rpm dengan hasil *filament* diameter yang seragam dan permukaan yang halus. Penelitian yang dilakukan oleh (Umam, Rancang Bangun Alat Pembentuk Filament 3D Printer Dari Botol Plastik Merk Crystalin dan Club, 2023) penelitian ini menggunakan suhu 230°C dan kecepatan penarikan 10 rpm.

Berdasarkan penelitian yang ada, suhu mempengaruhi tekstur dan kualitas hasil tetapi pada penelitian sebelumnya belum melakukan variasi kecepatan putaran motor stepper, dengan demikian penulis akan melakukan penelitian dengan menentukan variasi suhu 210°C dan 220°C serta kecepatan putaran motor stepper 18 rpm dan 24 rpm.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh parameter mesin pembuat *filament 3D Printing* dari kemasan mineral terhadap kekuatan tarik *filament* ? dan Bagaimana mendapatkan parameter yang optimum terhadap kekuatan tarik *filament* ?

### 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, penulis menguraikan batasan masalah untuk menghindari cakupan yang lebih luas dan memberikan fokus yang lebih terarah. Batasan masalah yang ditetapkan penulis sebagai berikut :

1. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah plastik jenis PET (Botol Plastik Bolesa 1.5 Liter)
2. Pengujian yang dilakukan yaitu menggunakan uji tarik
3. Parameter Proses pada pembuatan *filament* dengan mesin pembuat *filament 3D printing* dari kemasan mineral :
  - a. Suhu yang digunakan yaitu 210°C dan 220°C
  - b. Kecepatan putaran pada *stepper motor* yaitu 18 rpm dan 24 rpm
4. Parameter Proses pada pembuatan spesimen uji tarik dengan mesin 3D *printing* :
  - a. Suhu *nozzle* pada mesin 3D *printing* yaitu 260°C
  - b. *Print speed* 50%
  - c. Suhu *bed* 90°C
  - d. *Infill Density* (107,1%)
  - e. Tipe *Infill, Lines*

### 1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian diatas peneliti ingin mengetahui berdasarkan perumusan masalah :

1. Mengetahui parameter proses yang paling berpengaruh terhadap kekuatan tarik *filament*
2. Mengetahui parameter optimal dari mesin pembuat *filament 3D printing* dari kemasan mineral dari segi kekuatan tarik *filament*.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 3D Printer

Dalam mendesain produk sangat penting dan perlu untuk diperhatikan dalam membuat *Prototype* dengan cepat dan relatif murah. Ini memungkinkan desainer untuk mencetak model fisik dari desain mereka dan dengan cepat menguji fungsionalitas serta penampilan produk sebelum memulai produksi massal. Untuk membuat *prototype* awal tersebut, salah satu alternatifnya adalah menggunakan *3D printing*.

*3D printing* merupakan proses pembuatan objek tiga dimensi secara bertahap yang dimulai dengan pembuatan model digital dan mesin 3D printer akan membaca data model digital lalu membangun objek lapisan demi lapisan, proses ini juga dikenal dengan fabrikasi aditif karena objek dibuat dengan menambahkan material lapisan demi lapisan sehingga membentuk objek yang diinginkan.

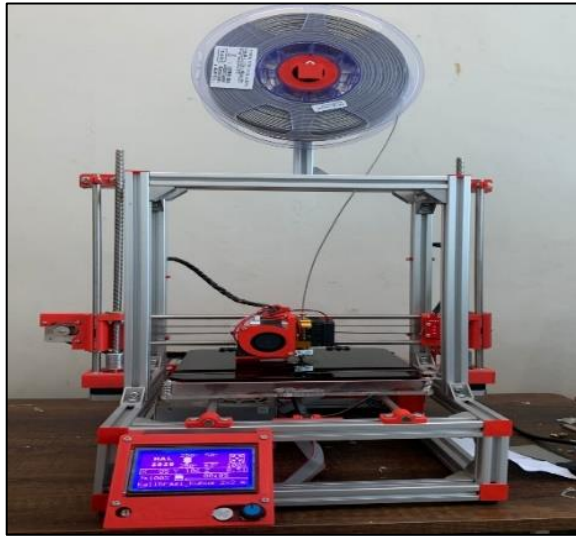
*3D printing* memiliki beberapa sistem kerja yang terdiri dari beberapa jenis yaitu *Fused Deposit Material* (FDM), *Selective Laser Sintering* (SLS) dan sebagainya.. Sistem FDM merupakan sistem *3D printing* yang mudah dan banyak dikembangkan saat ini (Abdilah & Ulikaryani, 2019). Dalam proses tersebut, bahan plastik yang telah dibentuk atau yang biasa dikenal dengan *filament* diekstrusi melalui *ekstruder* yang digerakkan sesuai dengan koordinat yang telah diatur dengan program lalu dibentuk bertahap (Umam, Rancang Bangun Alat Pembentuk Filament 3D Printer Dari Botol Plastik Merk Crystalin Dan Club, 2023).

##### 2.1.1. Parameter 3D Printer

Dalam teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM), beberapa faktor utama yang berperan dalam menentukan kualitas cetakan 3D. Meskipun dalam penelitian ini fokus pada mesin pembuat filamen, pemahaman mengenai parameter mesin *3D Printing* tetap penting, mengingat kualitas filamen akan diuji melalui proses pencetakan.

Berikut adalah parameter utama dalam proses 3D *Printing* :

1. *Nozzle Temperature* (Suhu Nozzle)  
Suhu nozzle menentukan kemampuan material meleleh dan mengalir dengan baik selama pencetakan. Suhu yang terlalu rendah menyebabkan penyumbatan, sedangkan suhu terlalu tinggi dapat menyebabkan material meleleh berlebihan.
2. *Bed Temperature* (Suhu Meja Cetak)  
Suhu bed membantu mencegah warping (melengkung) dengan memastikan lapisan pertama menempel dengan baik.
3. *Layer Height* (Tinggi Lapisan)  
Merupakan ketebalan setiap lapisan cetakan. *Layer height* kecil menghasilkan detail yang lebih halus, tetapi waktu cetak menjadi lebih lama.
4. *Printing Speed* (Kecepatan Cetak)  
Kecepatan menentukan waktu pencetakan dan kualitas permukaan. Kecepatan yang terlalu tinggi dapat menurunkan akurasi dimensi dan menimbulkan cacat, sementara kecepatan rendah meningkatkan presisi.
5. *Infill Density*  
*Infill density* adalah kepadatan struktur bagian dalam objek, biasanya antara 0–100%. Pola seperti *grid*, *honeycomb*, dan *triangles* dipilih sesuai kebutuhan kekuatan.



Gambar 2. 1 Mesin 3D Printing (Dokumentasi Pribadi, 13 Juni 2024)

## 2.2 *Filament* 3D Printer

*Filament* 3D printer adalah material yang digunakan dalam proses pencetakan di mesin 3D printer. *Filament* ini dimasukkan ke mesin 3D printer melalui sebuah ekstruder yang kemudian dipanaskan dan mencetak lapisan demi lapisan sehingga membangun sebuah objek yang diinginkan. *Filament* yang menjadi bahan untuk membentuk model 3D memiliki beberapa jenis antara lain :

### 2.2.1 ABS (*Acetonitrile Butadiene Styrene*)

*Acetonitrile Butadiene Styrene* atau ABS merupakan salah satu jenis bahan yang digunakan dalam 3D printing. ABS adalah polimer termoplastik yang terbuat dari 3 bahan utama yaitu akrilonitril, butadiena, dan stirena. Ini merupakan salah satu material yang paling umum digunakan dalam 3D printing karena sifatnya yang kuat, tahan lama dan relative mudah untuk dicetak. Pemilihan jenis *filament* ini juga dikarena stabil terhadap suhu dan paparan bahan kimia. Selain itu juga jenis ini tahan lama serta dapat dengan mudah dibersihkan dengan penguapan aseton.

Kekurangan dari penggunaan jenis *filament* ini adalah tidak terurai secara alami karena merupakan resin sintesis. Selain itu, setelah pencetakan, asap

beracun akan digunakan. ABS memerlukan *temperature* yang tinggi sehingga daya yang dibutuhkan juga signifikan.

### **2.2.2 PLA (*Polylactic Acid*)**

*Polylactic Acid* merupakan salah satu jenis *filament* yang banyak digunakan dan relatif memiliki harga yang murah. Polylactic acid (PLA) adalah polimer termoplastik yang terbuat dari sumber daya terbarukan (khususnya pati jagung atau tebu). Ini membuatnya lebih ramah lingkungan daripada filamen lain yang dibuat melalui cara yang tidak dapat diperbarui. Dibandingkan bahan lain, PLA standar memiliki suhu cetak yang relatif rendah, sehingga nyaman dan serbaguna untuk pencetakan. (Maward, 2020)

### **2.2.3 HIPS (*High Impact Polystyrene*)**

*High Impact Polystyrene* atau HIPS merupakan jenis *filament* yang tahan benturan tinggi (*High Impact*) membuatnya cocok untuk pencetakan objek yang memerlukan kekuatan dan ketahanan terhadap tekanan dan benturan. HIPS mudah dicetak dengan 3D *printer* yang dilengkapi dengan *head* cetak yang memungkinkan suhu tinggi.

Perlu diingat bahwa HIPS memiliki sifat sensitif terhadap pelarut tertentu seperti aseton, yang dapat menyebabkan kerusakan pada cetakan atau menyebabkan pelelehan.

### **2.2.4 PA (Poliamida) atau *Nylon***

*Nylon* dikenal karena kekuatannya yang tinggi, serta memiliki fleksibilitas menjadikannya pilihan yang ideal untuk pencetakan objek yang memerlukan ketahanan mekanis yang kuat serta objek yang membutuhkan kelenturan dan elastis.

*Nylon* memiliki kemampuan penyerapan air yang relatif tinggi, yang bisa menjadi kelebihan atau kekurangan tergantung pada aplikasinya. Dalam beberapa kasus, penyerapan air ini bisa mengurangi kekuatan material, tetapi dalam beberapa aplikasi, seperti pada bagian-bagian yang akan terendam dalam air atau lingkungan yang lembab, hal ini bisa menjadi keuntungan.

Pencetakan dengan *filament nylon* memerlukan penanganan dan persiapan yang hati-hati. Karena *nylon* cenderung menyerap air, pengeringan filament

sebelum pencetakan sering diperlukan untuk menghindari masalah seperti gelembung udara dalam cetakan atau perubahan dimensi akibat penyerapan air. Selain itu, karena nylon memiliki titik leleh yang tinggi, printer 3D yang dilengkapi dengan head cetak yang mampu mencapai suhu yang cukup tinggi dibutuhkan untuk mencetaknya.

#### **2.2.5 PVA (*Polyvinyl Alcohol*)**

*Polyvinyl Alcohol* atau PVA adalah jenis *filament* yang larut dalam air. Ketika digunakan sebagai bahan penyangga dalam pencetakan 3D, setelah selesai mencetak, dapat merendam benda cetakan dalam air untuk melarutkan *filament* PVA tersebut.

*Filament* PVA sangat berguna ketika Anda mencetak objek yang memiliki overhangs (bagian yang menjorok) atau bagian yang sulit diakses, karena dapat berfungsi sebagai bahan penyangga yang dapat larut setelah pencetakan selesai, tanpa merusak atau meninggalkan residu pada bagian cetakan yang selesai. Itu membuat proses pencetakan objek yang kompleks menjadi lebih mudah dan hasil akhir yang lebih baik.

#### **2.2.6 PETG (*Glycol-Modified Polyethylene Terephthalate*)**

Jenis plastik yang sering digunakan dalam pencetakan 3D dan berbagai aplikasi manufaktur lainnya. PETG adalah turunan dari PET (*Polyethylene Terephthalate*) yang telah dimodifikasi dengan penambahan glycol.

PETG memiliki beberapa karakteristik yaitu tahan terhadap benturan, transparansi tinggi, mudah dicetak, tahan terhadap kimia, serta kemampuannya yang baik untuk digunakan dalam manufaktur. Namun, PETG juga memiliki kekurangan salah satunya yaitu tidak tahan terhadap suhu tinggi yang membuat pengguna sulit menggunakannya disuhu yg ekstrim dibandingkan dengan *filament* jenis lainnya seperti ABS atau PC.

#### **2.2.7 TPU (*Thermoplastic Polyurethane*)**

*Thermoplastic Polyurethane* (TPU) merupakan *filament* yang memiliki fleksibilitas dan elastisitasnya yang tinggi. *Filament* jenis ini memiliki karakteristik tahan terhadap abrasi, minyak dan bahan kimia. Selain itu, TPU mempunyai kemampuan dalam menyerap getaran dan guncangan membuat *filament* jenis ini

berguna untuk benda yang harus memiliki kemampuan menyerap getaran dan guncangan seperti bantalan.

Selain keunggulannya yang bagus, TPU juga memiliki beberapa kekurangan, sifat elastisitas *filament* jenis TPU ini membuat proses pencetakan 3D lebih sulit dibandingkan jenis *filament* lainnya yang memiliki sifat lebih kaku (PLA atau ABS) maka dari itu perlu diperhatikan dengan pengaturan mesin yang tepat.

#### **2.2.8 ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate)**

*Acrylonitrile Styrene Acrylate* (ASA) merupakan salah satu jenis *filament* yang dikenal karena ketahanan cuaca yang membuat warna *filament* tidak gampang berubah dan tahan jika terpapar sinar matahari dalam jangka waktu yang cukup lama serta jenis *filament* ini cocok digunakan dalam industri.

ASA memiliki harga yang lebih tinggi dipasaran dibandingkan dengan jenis *filament* lainnya seperti PLA dan ABS. selain itu juga, jenis *filament* ini memerlukan suhu cetak yang tinggi dan stabil sehingga diperlukan ketelitian dalam pengaturan suhu yang baik.

Beberapa diantara jenis *filament* tersebut rentan terhadap perubahan suhu dan kelembaban udara. Perubahan kelembaban suhu ruang menjadi faktor turunnya kualitas *filament*, berpengaruh terhadap hasil 3D *printing* yang rapuh dan permukaan kasar. Salah satu cara menjaga kualitas *filament* agar tetap baik dengan cara mengatur kelembaban suhu ruang disekitar *filament* atau tempat penyimpanan *filament* di suhu 40-50 °C. Menyimpan disuhu tersebut bertujuan agar *filament* tetap dalam kondisi yang kering, tetapi tidak mengubah atau merusak sifat materialnya sehingga *filament* masih dapat digunakan walaupun sudah disimpan dalam waktu yang lama dan tidak menurunkan kualitas *filament* secara signifikan .

### **2.3 PET (Polyethylene Terephthalate)**

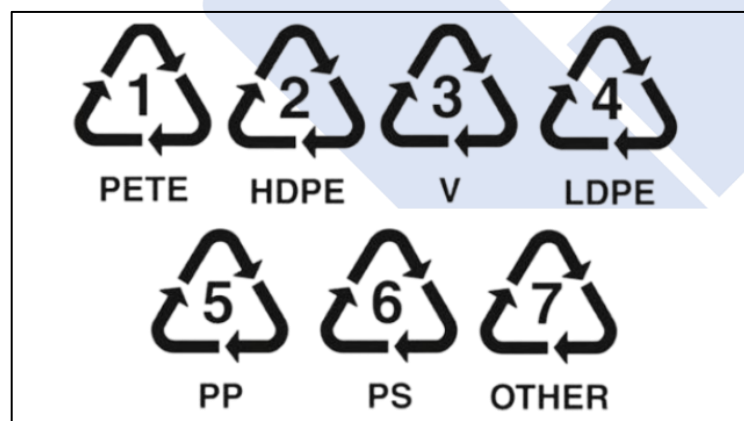
*Polyethylene Terephthalate* atau yang biasa dikenal dengan sebutan plastik PET/PETE merupakan salah satu jenis plastik yang biasa digunakan dalam industri kemasan atau yang paling sering kita temui adalah kemasan mineral. Plastik jenis ini memiliki keunggulan ringan dan mampu menjaga kualitas produk yang terdapat didalamnya. Selain itu, PET biasanya memiliki warna bening sehingga

memudahkan konsumen untuk melihat produk yang dibeli secara langsung (transparansi).

Tabel 2. 1 Tabel *Physical Properties* PET (Adismar, 2020)

<i>Properties</i>	<i>Units</i>	<i>Value</i>
<i>Density</i>	$\text{g cm}^{-3}$	<b>1.45</b>
<i>Glass Transition Temperature</i>	$^{\circ}\text{C}$	<b>80</b>
<i>Melting Temperature</i>	$^{\circ}\text{C}$	<b>200-225</b>
<i>Specific Heat Capacity</i>	$\text{cal g}^{-1} ^{\circ}\text{C}$	<b>0.35</b>
<i>Thermal Conductivity</i>	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	<b>0.15-0.4 @23°C</b>

Plastik jenis ini juga dapat didaur ulang dengan proses pengumpulan, pembersihan dan pengolahan. Produk yang dihasilkan bermacam macam dan lebih sering dijadikan bahan baku untuk membuat produk baru. Dengan bahan plastik menjadikannya sulit terurai, maka dari itu sangat diperlukan untuk pengolahan yang cermat agar dapat tercapainya tujuan dari proses daur ulang dan tidak menyebabkan pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh proses daur ulang yang tidak benar.



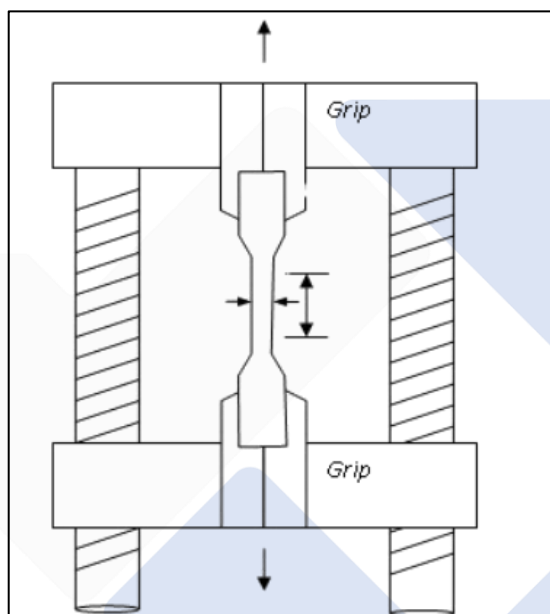
Gambar 2. 2 Kode Jenis Plastik

*Symbol* dengan angka 1 ditengahnya merupakan *symbol* dari plastik jenis PET, *symbol* ini mengarahkan pada plastik daur ulang dan disarankan untuk sekali pakai.

Plastik jenis PET juga sangat sering diproduksi dikarenakan sifatnya yang ringan, mudah didaur ulang dan murah.

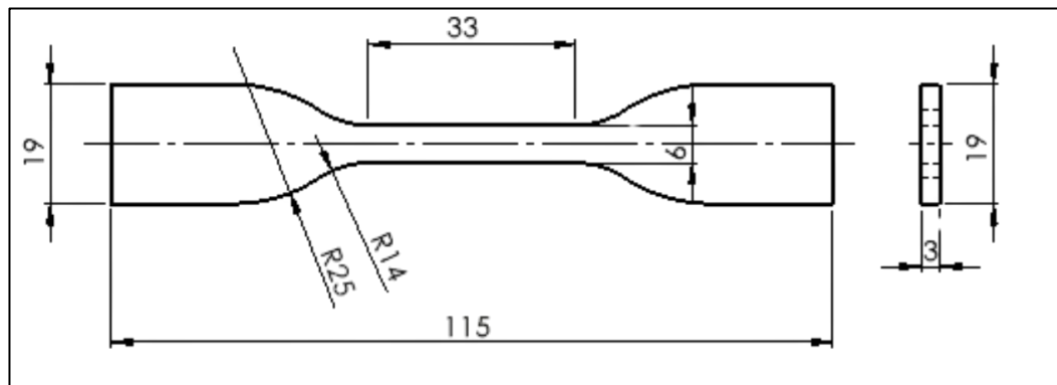
## 2.4 Uji Tarik

Pengujian kekuatan tarik adalah metode uji yang digunakan untuk menentukan sifat mekanik material dengan mengukur bagaimana material tersebut merespons terhadap gaya tarik. Ini merupakan salah satu pengujian yang paling umum dalam rekayasa dan ilmu material untuk menentukan kekuatan dan elastisitas material.



Gambar 2. 3 Contoh Pengujian Tarik

Pada uji tarik, bahan atau spesimen dikenakan gaya tarik secara berkelanjutan yang meningkat seiring waktu. Selama proses ini, perpanjangan yang terjadi pada bahan uji atau spesimen juga diamati secara bersamaan (Setiawan, 2017). Spesimen uji tarik harus memenuhi standar ASTM (*American Standard Testing and Material*), spesimen yang telah memenuhi standar, retak dan patahan dalam pengujian Tarik akan berada di daerah *gage length*.



Gambar 2. 4 Standar Ukuran *ASTM D638-IV Type 4*

## 2.1 Metode Taguchi

Metode *taguchi* adalah metodologi dalam bidang teknik yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk dan proses sekaligus mengurangi biaya dan penggunaan sumber daya secara minimal.

Metode *taguchi* dikembangkan oleh Dr. Genichi Taguchi. *Taguchi* dikenal karena pendekatannya dalam peningkatan kualitas, yang fokus pada perancangan eksperimen yang efisien dan robust untuk mengurangi variabilitas serta mengoptimalkan kinerja proses dan produk.

Keuntungan dari metode *taguchi* yaitu metode *taguchi* memungkinkan perancang melakukan eksperimen dengan lebih sedikit percobaan daripada metode konvensional, namun tetap menghasilkan hasil yang valid dan dengan berfokus pada pengurangan variabilitas, produk atau proses menjadi lebih konsisten.

Metode *taguchi* memanfaatkan matriks khusus yang disebut Matriks *Orthogonal*. Matriks standar ini dirancang untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang tetap menyediakan informasi lengkap mengenai semua faktor yang mempengaruhi parameter.

## 2.2 Desain Eksperimen *Taguchi*

Desain eksperimen adalah metode pengujian yang mengendalikan berbagai faktor untuk mendapatkan hasil yang terukur. Proses ini juga melibatkan evaluasi dua atau lebih faktor secara bersamaan untuk melihat pengaruhnya terhadap variabilitas hasil dari karakteristik produk atau proses tertentu. Untuk mencapai efisiensi, berbagai level faktor ditentukan dan nilai dari rangkaian percobaan khusus

diamati. Hasil lengkap dari percobaan ini kemudian dianalisis. Analisis tersebut digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh dan menentukan langkah-langkah perbaikan selanjutnya.

Desain eksperimen *taguchi* terdapat beberapa tahapan utama yaitu,

### **2.6.1 Tahapan Perencanaan**

Tahapan perencanaan Metode *taguchi* melibatkan beberapa langkah sistematis untuk memastikan eksperimen dilakukan dengan cara yang efisien dan hasil yang diinginkan dapat dicapai. Berikut adalah tahapan perencanaan dalam Metode *taguchi*:

1. Menyatakan Permasalahan atau Rumusan Masalah  
Seorang peneliti perlu menguraikan masalah yang akan diteliti dan langkah-langkah yang akan diambil untuk memperbaiki kualitas
2. Tujuan Penelitian  
Menentukan karakteristik kualitas dan Tingkat kinerja yang ingin dicapai dalam penelitian
3. Menentukan Metode  
Menentukan faktor-faktor yang akan digunakan dan diteliti, cara pengukurannya, serta alat ukur yang digunakan
4. Mengidentifikasi Variabel Tidak Bebas  
Variabel respon adalah variable yang tergantung pada faktor lain, sehingga disebut variable bebas. Saat merencanakan eksperimen, variable respon yang akan diteliti harus dipilih dan diidentifikasi dengan jelas
5. Identifikasi Faktor (Variabel Bebas)  
Variabel bebas adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini, faktor-faktor yang dipelajari yang mempengaruhi respon terkait diidentifikasi. Tidak semua faktor yang dianggap mempengaruhi respon harus diselidiki dalam satu percobaan untuk menjaga eksperimen tetap efektif dan efisien.
6. Pemisahan Kendali dan Faktor Gangguan  
Faktor yang kita teliti bisa dibagi menjadi faktor yang bisa kita kendalikan dan faktor yang tidak bisa kita kendalikan. Dalam eksperimen *taguchi*, kedua faktor

ini perlu didefinisikan dengan jelas karena efeknya berbeda. Faktor kendali adalah yang nilainya bisa kita atur, sedangkan faktor gangguan adalah yang nilainya tidak bisa kita atur.

7. Penentuan Jumlah dan Nilai Faktor

Untuk menentukan berapa banyak level yang mempengaruhi hasil dan biaya eksperimen, kita harus mempertimbangkan ketelitian hasil dan biaya. Semakin banyak level yang diuji, hasilnya akan semakin akurat, tetapi biaya yang harus dikeluarkan juga akan semakin besar.

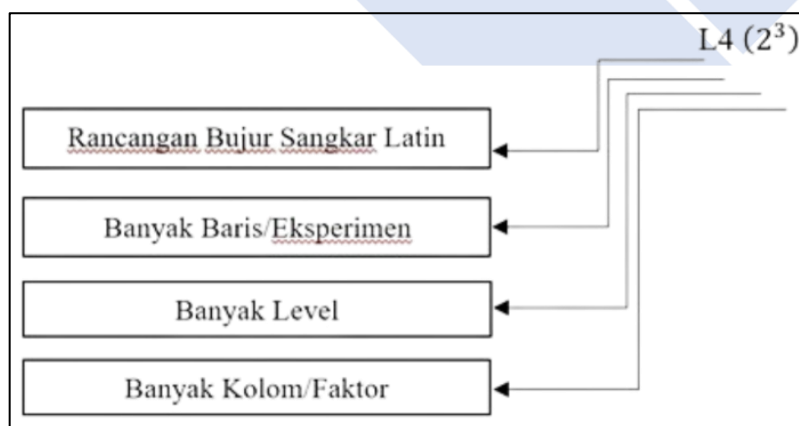
8. Perhitungan Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan adalah cara untuk merencanakan berapa besar percobaan yang akan dilakukan dan seberapa banyak informasi yang bisa diperoleh dari percobaan tersebut. Derajat kebebasan dari faktor dan level ( $vfl$ ) bisa ditentukan dengan persamaan berikut :

$$vfl = \text{Jumlah level faktor} - 1 \dots\dots\dots (2.1)$$

9. Menentukan Matrik Ortogonal

Matriks Orthogonal adalah sebuah matriks yang elemennya tersusun dalam baris dan kolom. Kolom-kolom ini mewakili faktor-faktor yang dapat berubah-ubah dari eksperimen sebelumnya. Baris-baris menggambarkan variasi variabel dalam penelitian. Disebut Orthogonal karena setiap level dari masing-masing faktor memiliki variabel yang seimbang dan terpisah dari pengaruh faktor eksperimen lainnya (Soejanto, 2009).



Gambar 2. 5 Notasi *Matrik Orthogonal*

Penjelasan Matrik Ortogonal :

- a. Notasi L digunakan untuk menunjukkan informasi tentang bujur sangkar latin.
- b. Jumlah Baris mengacu pada banyaknya baris dalam eksperimen yang digunakan dalam Matriks ortogonal.
- c. Jumlah Level adalah jumlah tingkatan faktor yang digunakan dalam penelitian. Pemilihan jumlah Matriks Orthogonal didasarkan pada jumlah total derajat kebebasan :
  - Jumlah faktor utama yang dihitung dan berinteraksi
  - Jumlah level dari faktor yang dihitung
  - Hasil akhir yang diinginkan
- d. Jumlah Kolom adalah jumlah faktor yang dihitung dalam Matriks Ortogonal.

### **2.6.2 Tahap Pelaksanaan Eksperimen**

Tahapan pelaksanaan eksperimen terdiri dari dua bagian: menentukan jumlah replikasi dan merandomisasi pelaksanaan eksperimen. Berikut adalah tahapan pelaksanaan eksperimen:

#### **1. Jumlah Replikasi**

Replikasi adalah mengulangi percobaan dengan perlakuan yang sama dalam kondisi yang sama untuk meningkatkan ketelitian hasil dan mengurangi kesalahan yang mungkin terjadi.

#### **2. Randomisasi**

Randomisasi dilakukan untuk menyebarkan pengaruh faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan secara merata ke seluruh unit percobaan dan memberikan setiap unit kesempatan yang sama untuk menerima perlakuan, sehingga menghasilkan kehomogeanan perlakuan yang sama di seluruh unit percobaan.

### 2.3 Tahap Analisis

Tahap analisis adalah proses penting untuk mengevaluasi data yang diperoleh dari eksperimen dan menentukan parameter optimal untuk mencapai hasil yang diinginkan. Rasio Sinyal Terhadap Kebisingan (S/N Ratio) digunakan untuk mengukur kinerja sistem dalam menghadapi variasi. Tujuan dari S/N Ratio yaitu untuk memaksimalkan rasio, sehingga sistem menjadi lebih tahan terhadap variasi eksternal dan internal. Rumus S/N Ratio bervariasi tergantung pada jenis respon yang dianalisis:

#### 1. *Smaller Is Better*

adalah pendekatan dalam metode *taguchi* yang digunakan ketika tujuan eksperimen adalah mengurangi nilai suatu parameter atau variabel ke tingkat serendah mungkin. Dalam konteks ini, semakin kecil nilai respon, semakin baik hasilnya.

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

Dimana :

n = Jumlah pengulangan yang dilakukan

y = Data dari hasil uji coba

Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk meminimalkan nilai variabel respon sehingga kerugian atau cacat pada produk atau proses dapat dikurangi.

#### 2. *Large Is Better*

adalah pendekatan dalam metode *taguchi* yang digunakan ketika tujuan eksperimen adalah untuk memaksimalkan nilai suatu parameter atau variabel. Dalam konteks ini, semakin besar nilai respon, semakin baik hasilnya.

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(1/y_i^2)}{n} \right] \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

n = Jumlah pengulangan yang dilakukan

y = Data dari hasil uji coba

Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk mengoptimalkan parameter sehingga variabel respon memiliki nilai yang sebesar mungkin, yang pada gilirannya dapat meningkatkan kualitas dan kinerja produk atau proses.

### 3. *Nominalis Best*

adalah pendekatan dalam metode *taguchi* yang digunakan ketika tujuan eksperimen adalah untuk mencapai nilai respons yang sedekat mungkin dengan nilai target yang diinginkan.

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y^1 - y^2)^2 \right] \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

n = Jumlah pengulangan yang dilakukan

y = Data dari hasil uji coba

Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk meminimalkan deviasi dari nilai nominal, sehingga menghasilkan performa yang konsisten dan mendekati target yang diinginkan. Dengan mengoptimalkan parameter untuk mencapai nilai ini, kualitas dan kinerja produk atau proses dapat ditingkatkan secara signifikan.

## 2.4 Minitab

Minitab adalah perangkat lunak statistik yang banyak digunakan untuk analisis data dalam berbagai bidang, termasuk industri, pendidikan, dan penelitian. Minitab menyediakan alat untuk melakukan analisis statistik, pemodelan data, dan visualisasi data, yang membantu pengguna memahami data mereka dan mengambil keputusan yang lebih baik berdasarkan analisis tersebut.

Metode Taguchi adalah pendekatan sistematis untuk perancangan eksperimen yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan kinerja produk atau proses dengan meminimalkan variabilitas dan sensitivitas terhadap faktor-faktor yang tidak terkontrol. Minitab dapat digunakan untuk menerapkan Metode Taguchi dengan cara berikut :

1. Desain Eksperimen : Minitab menyediakan alat untuk merancang eksperimen *taguchi* dengan memilih array orthogonal yang sesuai, menentukan faktor dan level, serta merancang tata letak percobaan.
2. Analisis Data : Minitab memungkinkan pengguna untuk memasukkan data hasil eksperimen, menghitung rasio sinyal terhadap kebisingan (S/N Ratio), dan melakukan analisis variansi (ANOVA) untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang signifikan.
3. Optimasi : Dengan menggunakan alat optimasi di Minitab, pengguna dapat menentukan kombinasi faktor dan level yang memberikan hasil terbaik berdasarkan analisis data.
4. Visualisasi : Minitab menyediakan berbagai jenis grafik dan plot untuk memvisualisasikan hasil eksperimen, seperti plot interaksi, plot utama, dan grafik respons, yang membantu dalam interpretasi dan presentasi hasil.
5. Uji Konfirmasi : Setelah mengidentifikasi kondisi optimal, Minitab dapat digunakan untuk merancang uji konfirmasi dan memvalidasi hasil yang diperoleh dari eksperimen awal.

## 2.5 Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang pengaruh suhu dan kecepatan motor mesin *Pultrusion* terhadap diameter *filament 3D printing*. Dalam penelitian ini menggunakan satu jenis botol, yaitu PET dan terdiri dari botol bening dan botol berwarna, potongan lembaran plastik dengan lebar 10 mm. Botol bening menggunakan 3 variasi suhu, (140°C, 145°C dan 150°C). Dan 4 variasi kecepatan putar motor penarik, (75 rpm, 80 rpm, 85 rpm dan 90 rpm). Botol berwarna menggunakan suhu 200°C dan kecepatan putar motor penarik 80 rpm. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini yaitu diameter filamen terkecil pada suhu 150°C dan kecepatan motor 90 rpm. Diameter filamen terbesar pada suhu 140°C dan kecepatan motor 75 rpm. Diameter filamen terbaik dicapai dengan nozzle berdiameter 1.6 mm menghasilkan diameter filamen rata-rata 1.75 mm (Witra, Malik, & Effendi, 2024).

Penelitian tentang rancang bangun mesin *Pultrusion* pembuat filamen 3D *printing* berbasis limbah plastik botol PET. Dalam penelitian ini parameter yang

digunakan mesin pultrusion pembuat filamen yaitu pada suhu 205°C dan kecepatan tarik 30 rpm. Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap botol plastik berukuran 1.5 L didapatkan panjang filamen yang dihasilkan adalah 7.80 m dengan berat filamen sebesar 15 gram serta dengan parameter yang digunakan filamen memiliki diameter seragam, warna yang mengkilau dan memiliki permukaan yang halus (Taufiq, Lubis, & Ivanto, 2023).

Penelitian tentang rekayasa mesin pembuat filamen dari sampah botol PET untuk 3D *printing*. Dalam penelitian ini menggunakan parameter di mesin pembuat filamen dengan 3 variasi suhu (180°C, 190°C, 200°C) dan dilakukan pengujian printing dengan parameter di mesin 3D *printing* yaitu suhu *nozzle* 260°C, suhu meja °C. Hasil pembuatan filamen ada yang berbentuk bulat dan ada pula yang belum bulat sempurna. Untuk pengujian *printing* penelitian menunjukkan bahwa filamen dengan suhu 200°C lebih baik dikarenakan hasil cetak yang sudah halus, sedangkan untuk suhu 180°C dan 190°C masih cukup kasar (Santoso, TUGAS AKHIR REKAYASA MESIN PEMBUAT FILAMEN DARI SAMPAH BOTOL PET UNTUK 3D PRINTING, 2022).

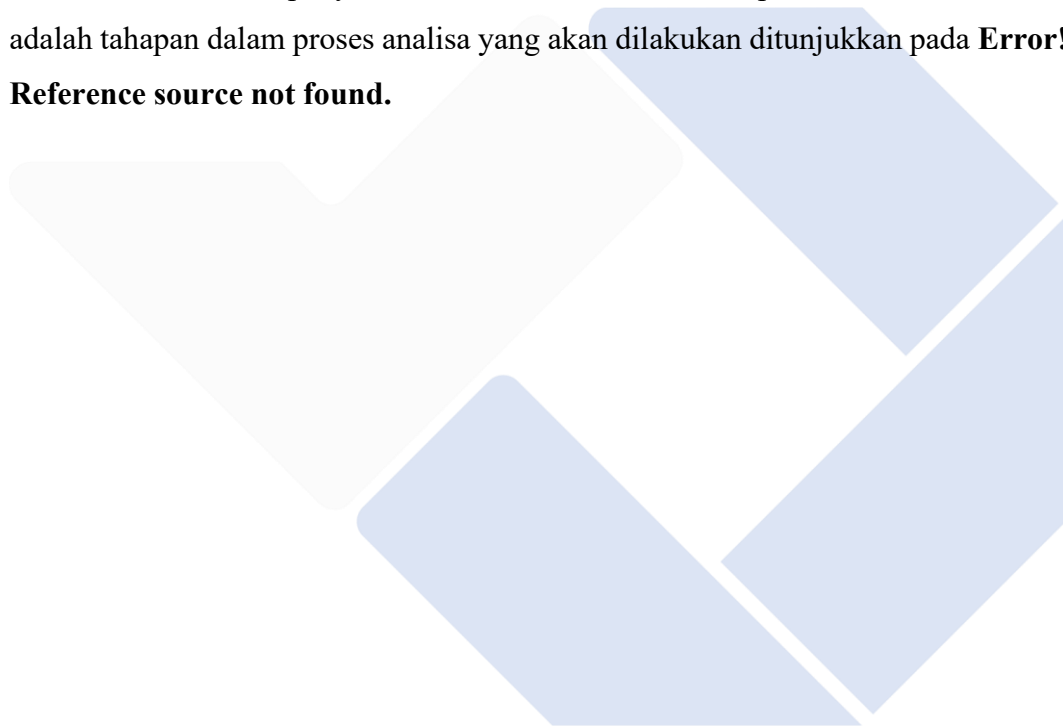
Penelitian tentang pengaruh suhu dan analisis kekuatan material PET (*Polyethylene Terephthalate*) terhadap ekstrusi pada mesin filamen maker 3D printer. Dalam penelitian ini pembuatan filamen 3D printer, bahan botol bekas digunakan (PET-A 77,0°C, PET-L 77,0 °C dan PET-V 76.0 °C) dan selanjutnya dibuat menjadi spesimen uji tarik dengan menggunakan 3D printer, serta variasi density mulai dari 25%, 50%, 75% dan 100%. Hasil yang kontras didapatkan terhadap uji tarik pada botol PET-A 25% (14,81 MPa), 50% (16,36 MPa), 75% (23,23 MPa) 100% (33,51 MPa), dimana hasil pada botol PET-A menjadi yang paling baik (Aryanto, Zaenudin, Saleh, & Hidayat, 2023)

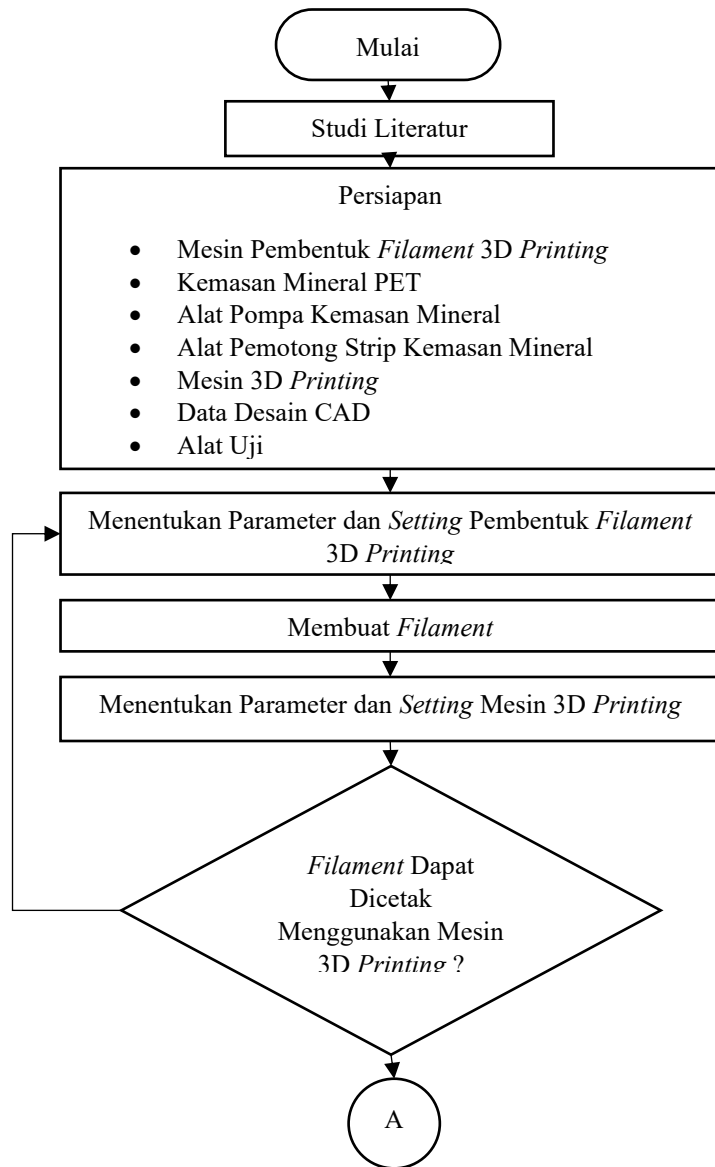
## BAB III

### METODE PELAKSANAAN

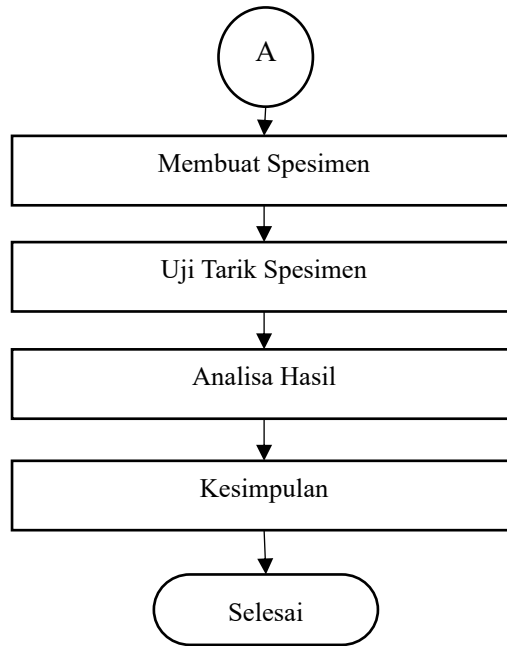
#### 3.1 Diagram Alir

Metode pelaksanaan merupakan bagian kerangka dasar dalam penyelesaian proyek akhir. Metode penelitian mencakup seluruh kegiatan yang akan dilaksanakan dalam penyelesaian masalah atau dalam proses analisa. Berikut adalah tahapan dalam proses analisa yang akan dilakukan ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.**





Gambar 3. 1 *Flowchart*



Gambar 3. 2 *Flowchart (Lanjutan)*

### 3.1 Studi Literatur

Studi literatur dalam penelitian adalah proses mencari dan meninjau informasi yang relevan dengan topik penelitian. Tujuan utamanya adalah untuk memahami apa yang sudah diketahui dan mendapatkan dasar teori serta metode yang mendukung penelitian. Langkah-langkahnya meliputi menentukan topik, memilih kata kunci, mencari literatur, menyaring literatur berdasarkan relevansi, mengevaluasi literatur yang dipilih, mencatat dan mengorganisasi temuan, menganalisis dan menyusun informasi dari literatur, serta merevisi dan menyuntingnya. Hasil dari studi literatur biasanya berupa tinjauan literatur yang menjadi bagian penting dari laporan penelitian atau tesis, memberikan dasar yang kuat bagi penelitian dengan memastikan penelitian tersebut didasarkan pada

pengetahuan yang ada dan memberikan kontribusi berarti terhadap pemahaman ilmiah.

### 3.2 Persiapan Alat dan Bahan

#### 3.3.1 Alat

Berikut merupakan alat yang dibutuhkan dalam penelitian :

- a. Mesin Pembuat *Filament 3D Printing*

Mesin ini dapat digunakan untuk membuat *filament* dari kemasan mineral 1.5 Liter atau dibawahnya.



Gambar 3. 3 Mesin Pembuat *Filament 3D Printing*

Tabel 3. 1 Spesifikasi Mesin Pembuat *Filament 3D Printing*

Spesifikasi Mesin	
Dimensi Mesin	32x20x20 cm
Berat Mesin	1.5 Kg
Daya	40W
Suhu	0-230°C
Kecepatan <i>Stepper Motor</i>	6, 12, 18, 24, 30, 36 Rpm

b. Alat Pompa Kemasan Mineral

Alat pompa ini digunakan untuk mengisi udara dibotol saat dipanaskan.



Gambar 3. 4 Alat Pompa Kemasan Mineral

c. Alat Pemotong Strip Kemasan Mineral

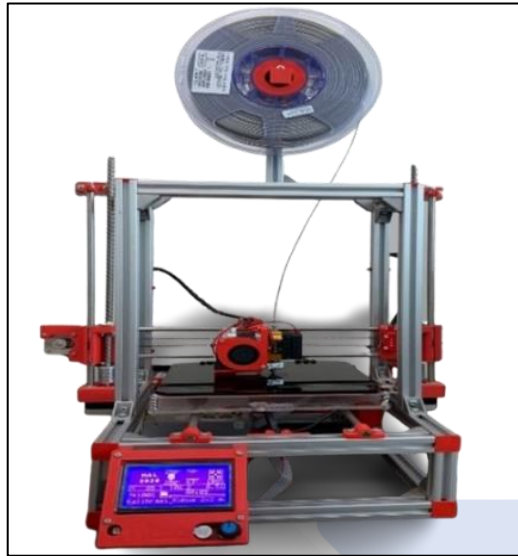
Alat ini digunakan untuk memotong kemasan mineral menjadi strip setelah melakukan proses pemanasan pada kemasan mineral.



Gambar 3. 5 Alat Pemotong Strip Kemasan Mineral

d. Mesin 3D *Printing*

Mesin 3D *printing* yang digunakan adalah mesin Model Haltech H-01 Cartesian, memiliki *printing* are X Y Z, 210 mm x 210 mm x 300mm.



Gambar 3. 6 Mesin 3D *Printing* Model *Haltech H-01 Cartesian*

e. Alat Uji Tarik Spesimen

Alat yang digunakan untuk uji specimen yang telah dicetak menggunakan alat uji tarik.



Gambar 3. 7 Alat Uji Tarik

f. Laptop

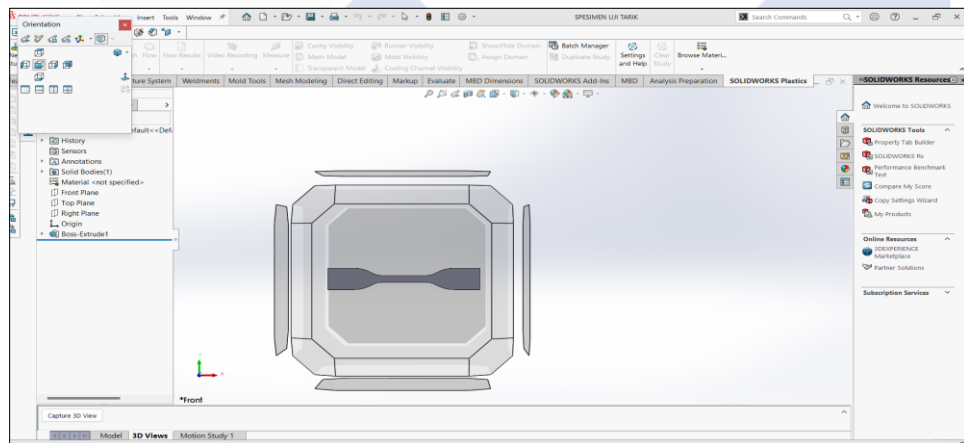
Laptop digunakan untuk menjalankan *Software Solidworks 2021*, *Software Ultimaker Cura 5.7.0* dan *Minitab*.



Gambar 3. 8 Laptop

g. *Software Solidworks 2021*

*Software* ini digunakan untuk mendesain spesimen yang akan di jadikan untuk bahan uji tarik. Pada *Software* ini file akan diexport dengan format STL.

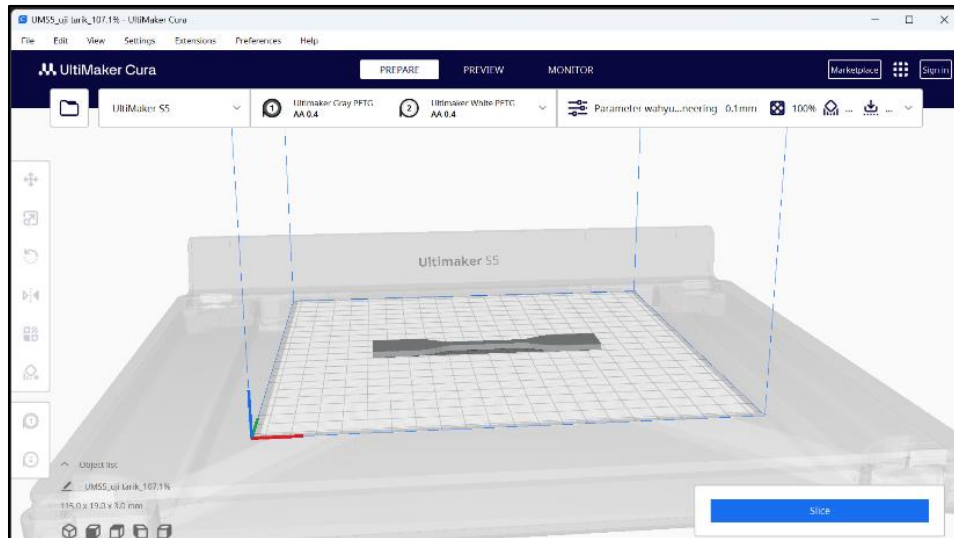


Gambar 3. 9 *Software Solidworks 2021*

h. *Software Ultimaker Cura 5.7.0*

File ini akan membaca format STL yang telah di export dari desain specimen yang dibuat dari *Solidworks*. Selain itu dapat mengatur

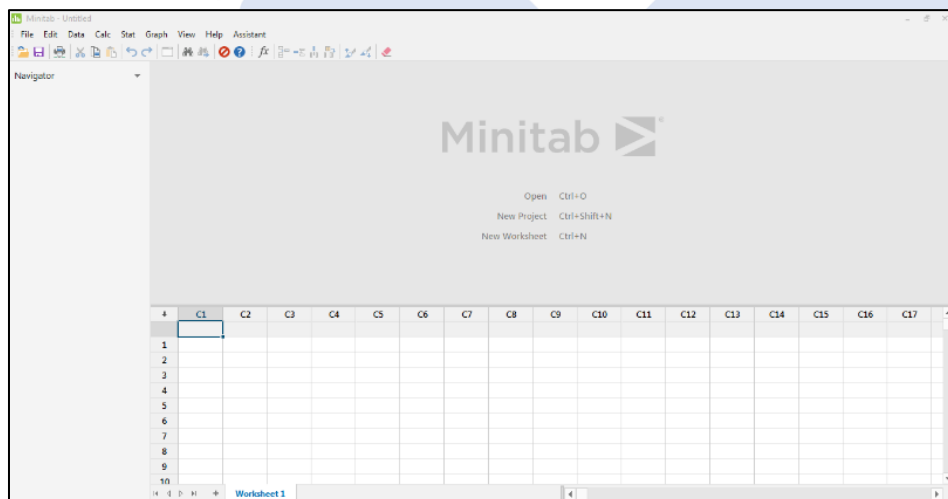
parameter sesuai dengan yang diinginkan lalu disimpan dalam format *Gcode*.



Gambar 3. 10 *Software Ultimaker Cura 5.7.0*

i. *Software Minitab 19*

Perangkat lunak ini digunakan untuk membantu dalam analisis statistik dan pengolahan data, yang bertujuan untuk menentukan variasi parameter atau faktor-faktor yang mempengaruhi variabel dalam metode Design of Experiment (DoE).



Gambar 3. 11 Tampilan pada *Software Minitab 19*

### 3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

a. Kemasan Mineral Jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET)

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah plastic jenis PET dari kemasan mineral yang telah melalui proses sehingga menjadi *filament 3D printing*.



Gambar 3. 12 Kemasan Mineral Jenis PET

### 3.3 Penentuan Parameter

Langkah-langkah untuk menentukan parameter adalah sebagai berikut,

#### 3.3.1 Design Of Experiment (DoE)

*Design of Experiment* (DoE) dilakukan untuk menentukan faktor-faktor dan variasi parameter, serta menetapkan level variasi parameter yang akan digunakan dalam proses *slicer Ultimaker Cura*. Tujuannya adalah untuk menentukan jumlah percobaan minimum dan mengumpulkan informasi sebanyak mungkin mengenai semua faktor yang mempengaruhi parameter dalam optimasi produk *3D Printing*. Penggunaan metode pengujian "*one change at a time*" selalu membawa risiko, karena peneliti harus mengidentifikasi satu variabel input yang dapat memiliki dampak signifikan pada output tanpa mengubah variabel lainnya demi menjaga kestabilan. Penelitian ini menggunakan parameter mesin pembuat *filament 3D printing* yaitu suhu (°C) dan kecepatan putaran pada *stepper motor* (Rpm).

### 3.3.2 Penentuan Faktor dan Level Eksperimen

Dalam penelitian ini, akan digunakan 2 parameter yaitu suhu dan kecepatan putaran pada *stepper motor*. Pemilihan parameter proses kali ini berupa faktor dan level eksperimen. Desain *taguchi orthogonal array L<sub>4</sub>* dengan dua faktor dan dua level yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada perhitungan total derajat kebebasan.

Tabel 3. 2 Parameter Proses Penelitian

Faktor	Parameter Proses	Level	
		1	2
1	Suhu	210°C	220°C
2	Kecepatan Putaran <i>Stepper Motor</i>	18 Rpm	24 Rpm

Pada tabel 3.2 menunjukkan parameter proses yang akan dilaksanakan pada saat 3D *printing* yang dibuat berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan.

### 3.3.3 Pemilihan Matriks Orthogonal

Penerapan *matriks orthogonal* harus memiliki derajat kebebasan yang setara atau lebih besar daripada semua parameter proses, derajat kebebasan, dan tingkat faktor yang telah ditentukan.

Tabel 3. 3 Derajat Kebebasan

Faktor	Jumlah Level (k)	Ufl = (k - 1)
Suhu	2	1
Kecepatan Putaran <i>Stepper Motor</i>	2	1
Total Derajat Kebebasan		2

Tabel 3. 4 Desain *Taguchi Orthogonal Array L4*

<i>Exp</i>	Suhu	Kecepatan <i>Stepper Motor</i>
1	1	1
2	1	2
3	2	1
4	2	2

Tabel 3.4 menunjukkan eksperimen dilakukan secara acak dengan parameter yang telah dikombinasikan sesuai dengan desain eksperimental yang sejalan dengan *matriks orthogonal*.

Tabel 3. 5 Desain Faktorial Penelitian

<i>Exp</i>	Suhu	Kecepatan Putaran <i>Stepper Motor</i>
1	210°C	18 Rpm
2	210°C	24 Rpm
3	220°C	18 Rpm
4	220°C	24 Rpm

Tabel 3.5 yang merupakan desain factorial penelitian akan dijadikan dasar percobaan. Setiap nilai parameter akan dimasukkan ke *software Minitab 19* dan spesimen uji tarik akan dibuat menjadi tiga buah replikasi sampel. Hasil sampel yang telah menjadi spesimen kemudian akan diuji dengan menggunakan uji tarik dan dirata-ratakan nilainya.

### 3.3.4 Pelaksanaan Eksperimen

Sebelum memulai pelaksanaan eksperimen terlebih dahulu melaksanakan proses pembuatan *filament 3D printing* dari kemasan mineral. Kemasan mineral yang mempunyai tekstur dibagiannya akan melalui proses pemanasan terlebih dahulu, botol dipompa sehingga terdapat angin didalamnya yang berfungsi untuk menahan botol agar tidak menyusut saat dipanaskan, pemanasan ini juga berfungsi untuk menghaluskan permukaan botol. Kemudian botol dipotong menggunakan alat pemotong menjadi strip kemudian dimasukkan ke mesin pembuat *filament 3D*

*printing*. Dilakukan membaca referensi dan dilakukan beberapa percobaan agar menghasilkan parameter yang sesuai dengan pelaksanaan eksperimen. Setelah itu, dilakukan perhitungan terhadap perbedaan waktu pembuatan, konsistensi pada diameter *filament* serta penambahan Panjang dari bentuk strip menjadi *filament*. Setelah *filament* berhasil dibuat maka dilakukan mendesain spesimen uji tarik menggunakan *software Solidworks 2021* dan diekspor ke format STL, format STL dimasukkan ke *software Ultimaker Cura 5.7.0*, dibagian ini dapat mengatur parameter yang telah ditentukan kemudian disimpan dalam bentuk *G-code*. *G-code* akan dibaca oleh mesin 3D *printing* selama proses pencetakan spesimen.

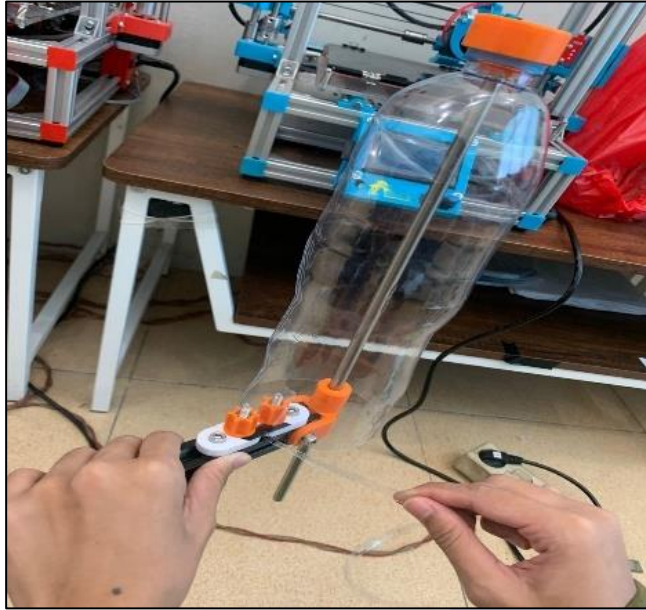
Berikut adalah tahapan dalam proses eksperimen :

1. Pompa dan memanaskan botol yang bertujuan untuk menghilangkan tekstur dari permukaan botol menjadi halus.



Gambar 3. 13 Proses Pompa dan Pemanasan Botol

2. Memotong botol menjadi strip. Pada proses ini botol bagian atas dan bagian bawah tidak digunakan karena memiliki tebal dan kekakuan yang berbeda.



Gambar 3. 14 Proses Pemotongan Botol Menjadi Strip

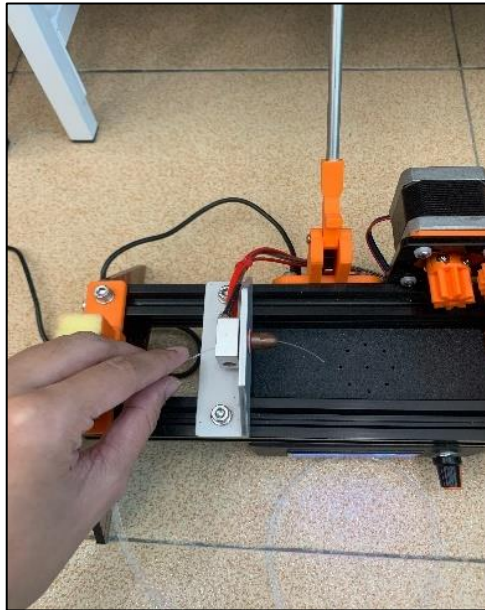
3. Pembuatan *filament* 3D *printing* dari kemasan mineral. Berikut adalah proses pembuatannya :

- a. Potong strip menjadi bagian kecil sepanjang 10-15 cm.



Gambar 3. 15 Proses Pemotongan Strip

- b. Masukkan strip kecil kedalam *nozzle* dan tarik menggunakan tangan.



Gambar 3. 16 Proses Memasukkan Strip ke *Nozzle*

- c. Atur suhu *nozzle* sebesar 150°C.



Gambar 3. 17 Proses Pengaturan Suhu Saat Strip Masuk ke *Nozzle*

Sambil menunggu suhu tercapai, tarik strip yang telah melewati *nozzle* kemudian ikat ke tali penggulangan.



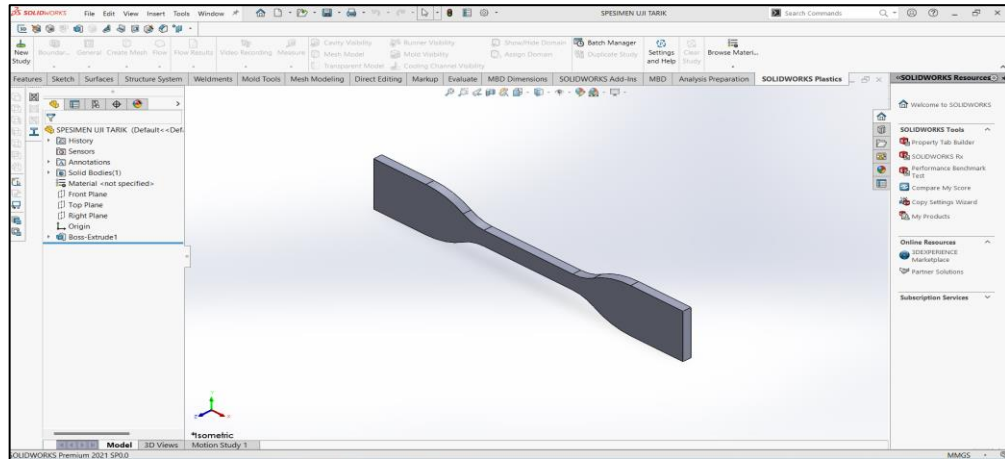
Gambar 3. 18 Proses Pengikatan *Filament* ke Tali Penggulungan

- d. Atur suhu dan kecepatan putaran *stepper motor* sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.
- e. Setelah sudah siap semua, lakukan proses pembuatan sesuai dengan urutan parameter yang telah ditentukan agar mempermudah dalam pengambilan data.



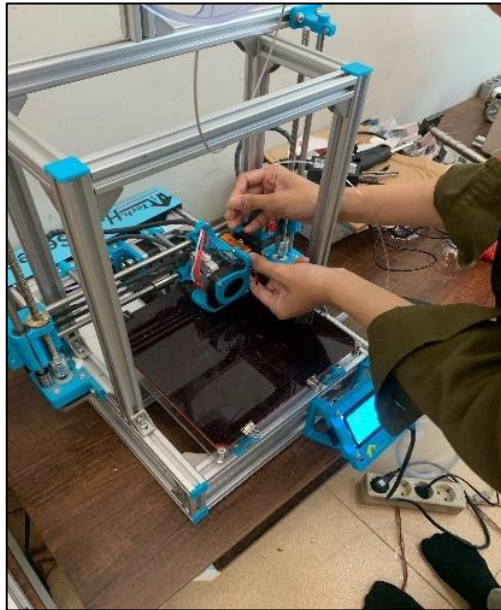
Gambar 3. 19 Proses Pembuatan *Filament*

4. Lakukan pembuatan desain spesimen uji tarik sesuai dengan standar ASTM D638-IV Type 4 dengan menggunakan *software Solidworks 2021* kemudian desain di *export* ke format STL.



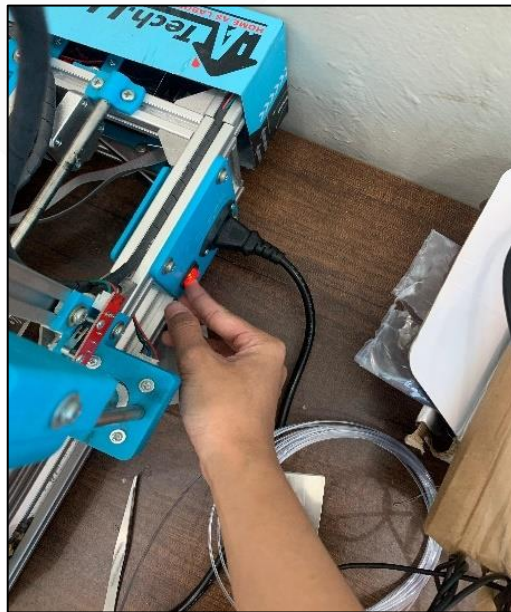
Gambar 3. 20 Desain Spesimen

5. Format STL tersebut dimasukkan ke *software Ultimae Cura 5.7.0* untuk diatur parameternya sesuai dengan yang telah ditentukan, lalu file di *export* ke bentuk *G-code*.
6. *G-code* akan dimasukkan ke mesin 3D *printing* untuk dibaca kemudian dilakukan proses pencetakan spesimen dengan parameter yang telah diatur sebelumnya. Berikut langkah-langkah proses 3D *printing* :
  1. Lakukan pemasangan *filament* yang telah dibuat ke mesin 3D *printing*. Seperti pada Gambar 3.21.



Gambar 3. 21 Proses Pemasangan Filament

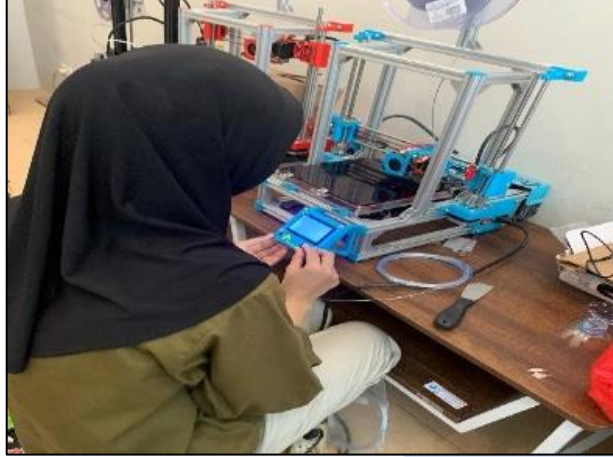
2. Nyalakan mesin dengan menekan tombol dibagian samping bawah mesin. Seperti pada Gambar 3.22.



Gambar 3. 22 Proses Menghidupkan Mesin

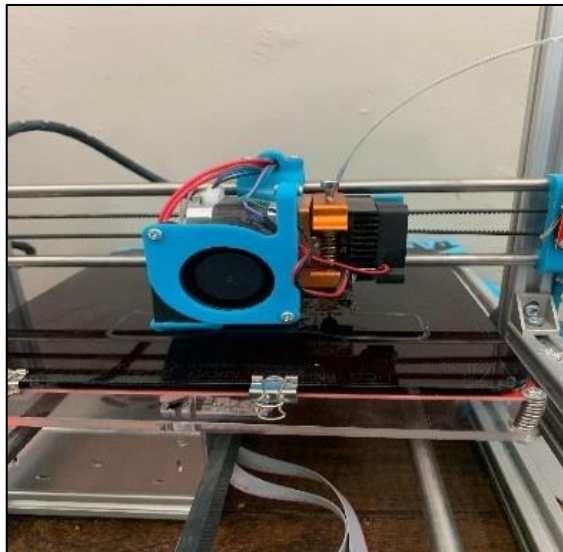
3. Kalibrasi mesin agar meja menjadi sama rata dan mengukur jarak antara *nozzle* dan meja.
4. Masukkan *sandisk* yang telah diinput file *G-code* dari *software Ultimaker Cura 5.7.0* . seperti pada Gambar

5. Kemudian atur parameter pada mesin 3D *printing*. Seperti pada Gambar 3.23.



Gambar 3. 23 Proses Pengaturan Parameter

6. Setelah semua diatur dan mesin telah siap, spesimen akan melalui proses pencetakan. Seperti pada Gambar 3.24



Gambar 3. 24 Proses 3D Printing Spesimen

Spesimen yang telah dicetak, kemudian akan dilakukan pengujian tarik.

7. Pengujian kekuatan tarik terhadap spesimen menggunakan mesin uji tarik. Seperti pada Gambar 3.25



Gambar 3. 25 Pengujian Kekuatan Tarik

### 3.3.5 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, menggunakan mesin uji tarik merek *Zwick Roell Z020*. Data dari hasil uji tarik tersebut dicatat untuk kemudian diproses ke pengolahan data.

### 3.3.6 Pengolahan Data

Setelah melakukan pengambilan data, kemudian data diolah dengan memasukkan data ke *software minitab* kemudian diolah kedalam *Microsoft excel* untuk mendapatkan parameter proses yang optimal.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengambilan Data Hasil Eksperimen

Setelah spesimen dicetak, maka akan dilakukan proses uji tarik untuk melihat kekuatan tarik dari spesimen tersebut. Pengujian kekuatan tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung menggunakan alat uji tarik *zwick roell Z020*. Setelah mendapatkan hasil, kemudian data diolah untuk mendapatkan nilai tertinggi dan terendah dari proses pengujian kekuatan tarik. Seperti pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Hasil Uji Tarik Spesimen

Hasil Pengujian dari uji tarik spesimen dapat dilihat dari Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

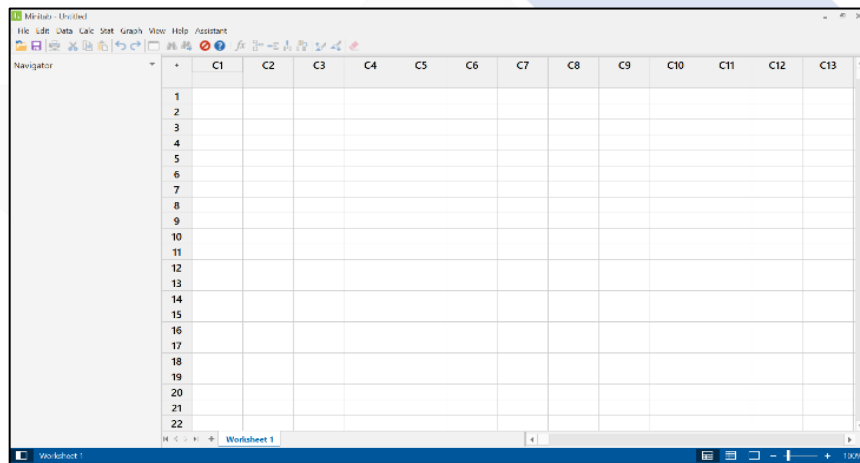
No	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Rata-rata
1	59,4	54,3	52,8	55,5
2	51,8	44,2	65,5	53,8
3	56,5	59,4	54,9	56,9
4	48,2	49,2	51,9	49,7

## 4.2 Pengolahan Data Hasil Eksperimen

Data hasil pengujian akan diolah untuk menentukan parameter proses yang berpengaruh dan paling optimal terhadap hasil uji kebulatan. Pengolahan data ini akan dilakukan menggunakan *software Minitab*. Data hasil pengujian yang terdapat pada Tabel 4.1 akan dimasukkan ke dalam *software Minitab* untuk menghasilkan respon *Mean plot* dan *S/N Ratio*.

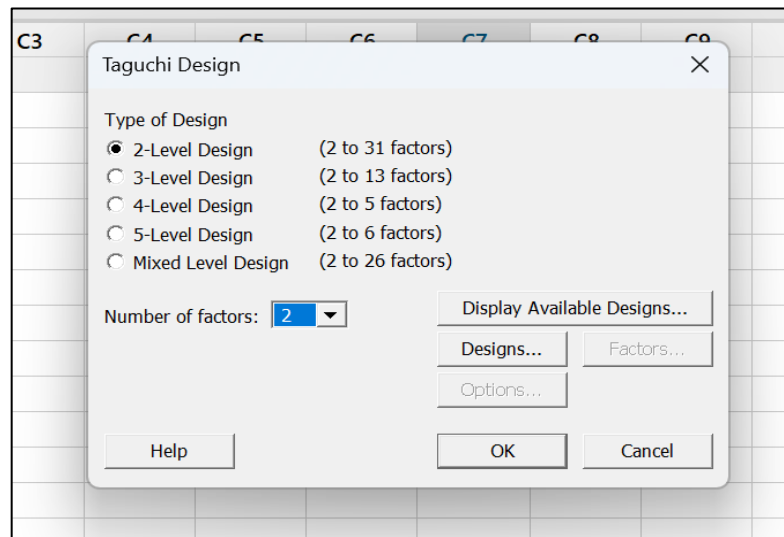
Berikut adalah langkah-langkah analisis untuk menentukan *S/N ratio* menggunakan *software Minitab* :

1. Buka *Software Minitab*, tampilan awal akan memunculkan tampilan *Worksheet*. Seperti pada Gambar 4.2



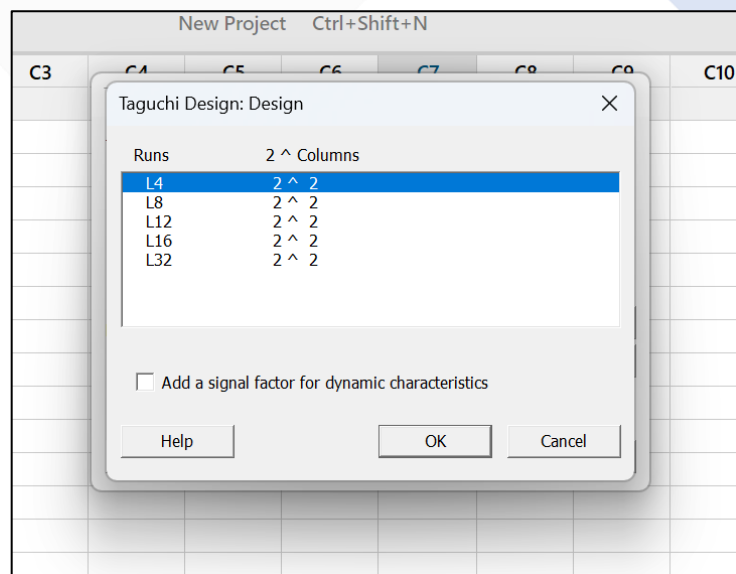
Gambar 4. 2 Tampilan *Worksheet* pada *Minitab*

2. Selanjutnya, pilih menu *STAT – DOE – TAGUCHI – CREATE TAGUCHI DESIGN*, dan akan muncul tampilan *Taguchi Design*, setelah tampilan *taguchi design* tentukan type of design dan *number of factor* pada menu yang ada pada tampilan *taguchi design* tersebut. Tampilan *Taguchi Design* yang sudah diatur sesuai parameter yang ditentukan pada Gambar 4.3



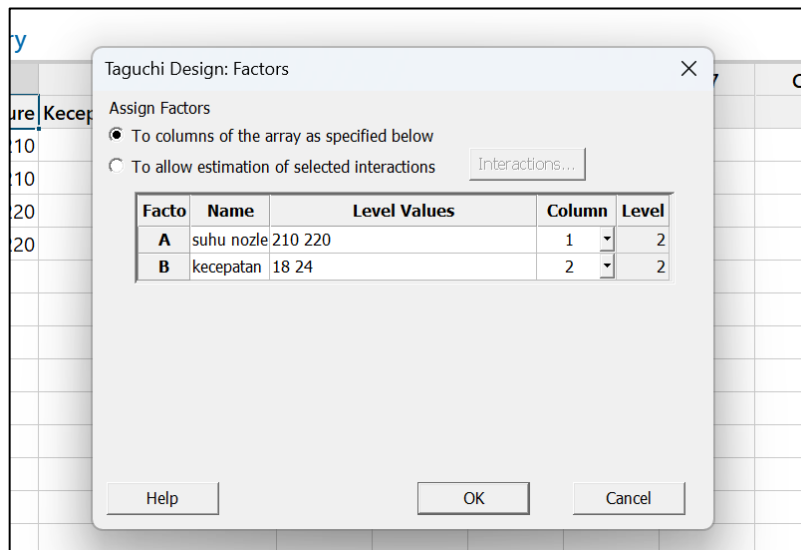
Gambar 4. 3 Tampilan *Taguchi Design*

3. Pada tampilan *Create Design Taguchi* pilih *Design Taguchi* dengan matrik L4, dan klik OK.



Gambar 4. 4 Tampilan *Design*

4. Apabila muncul tampilan *Factors*, kemudian masukkan *Name* dan *Level Values* sesuai dengan parameter proses dan level yang telah ditentukan.



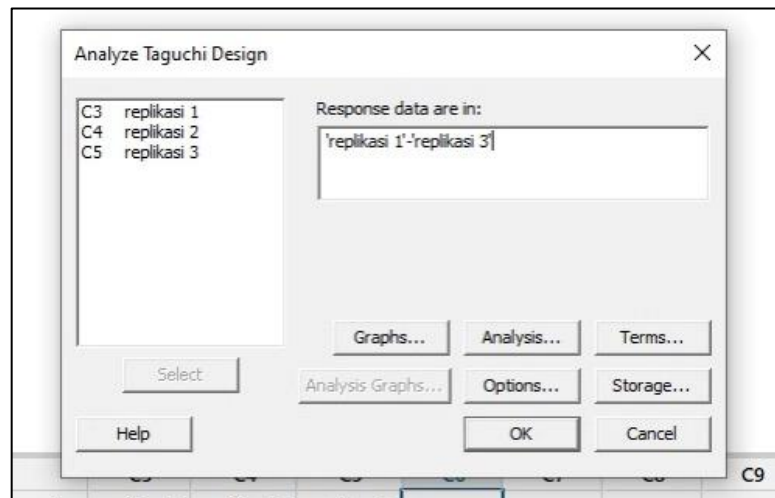
Gambar 4. 5 Tampilan *Factor*

5. Setelah data dimasukkan klik OK, sehingga menghasilkan data *Design Factorial L4*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	suhu nozle	kecepatan stepper motor					
1	210	18					
2	210	24					
3	220	18					
4	220	24					
5							
6							
7							

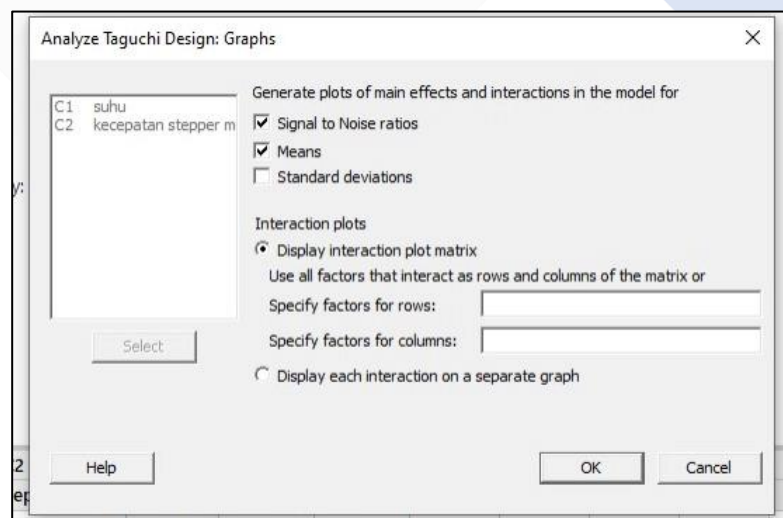
Gambar 4. 6 Halaman *Worksheet* Desain Faktorial L4

6. Pilih menu *STAT – DOE – ANALYZE TAGUCHI DESIGN*, sehingga muncul tampilan *Analyze Taguchi Design*
7. Klik C4 Replikasi 1, C5 Replikasi 2, C6 Replikasi 3, kemudian pilih respon yaitu Replikasi 1 sampai Replikasi 3 kemudian klik *SELECT* seperti pada Gambar 4.7



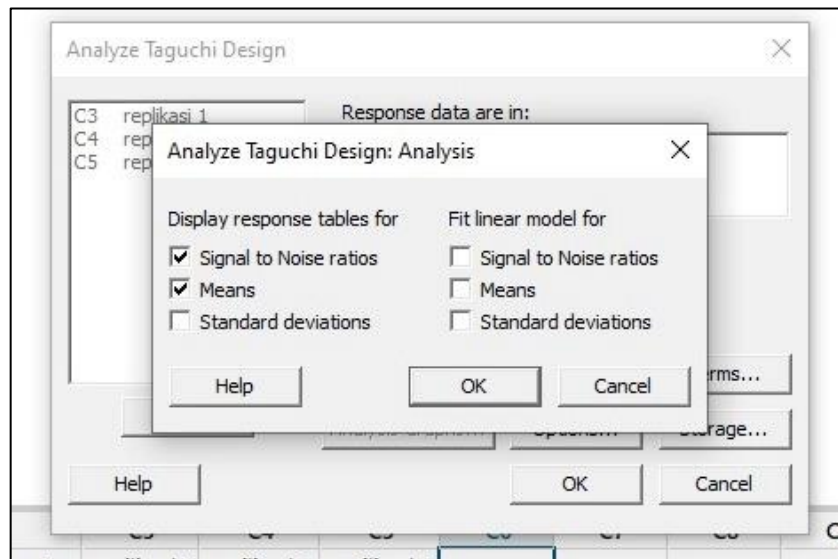
Gambar 4. 7 Tampilan *Analyze Taguchi Design*

8. Pada menu *Graphs* pilih *Signal to Noise Ratios* dan *Means* kemudian klik OK. Seperti pada Gambar 4.8



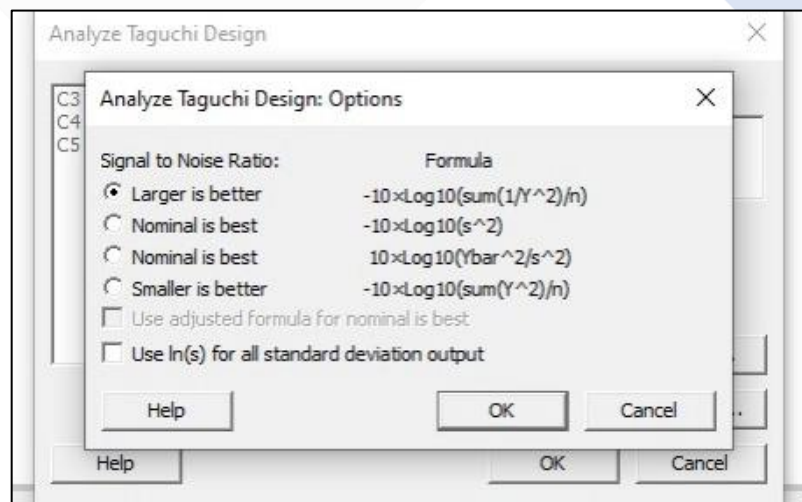
Gambar 4. 8 Tampilan *Analyze Taguchi Design Graphs*

9. Pilih *Analysis* kemudian pilih *Signal to Noise Ratios* dan *Means* seperti pada Gambar 4.9



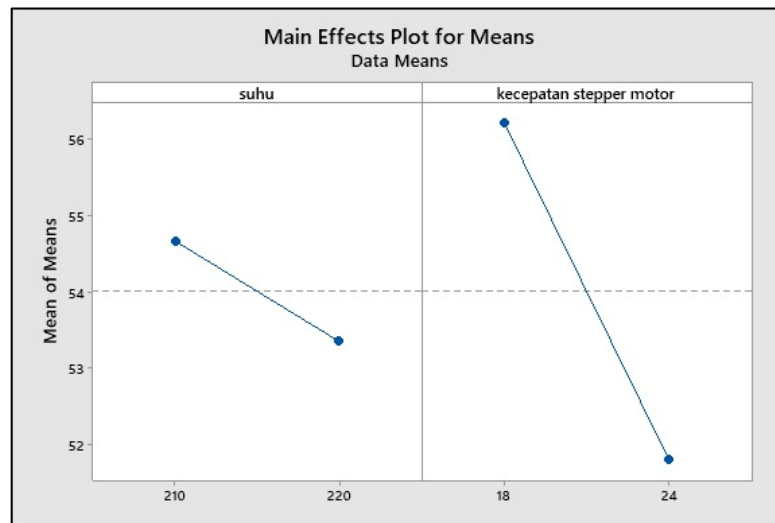
Gambar 4. 9 Tampilan *Analyze Taguchi Design Analysis*

10. Pada menu *Options* pilih *Signal to Noise Ratio*-nya *Large is Better* seperti pada Gambar 4.10



Gambar 4. 10 Tampilan *Analyze Taguchi Design Options*

11. Kemudian klik OK untuk menghasilkan perhitungan *Mean Plot* seperti pada Gambar 4.11 dan Tabel 4.2. Perhitungan *S/N Ratio "Large is Better"* seperti pada Gambar 4.11



Gambar 4. 11 Grafik *Mean Plot*

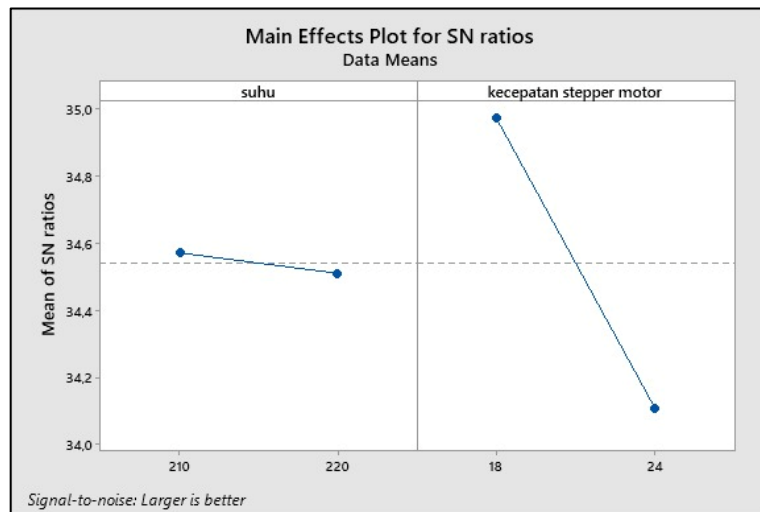
Tabel 4. 2 *Response Table for Means*

Level	Suhu (°C)	Kecepatan Putaran <i>Stepper Motor</i> (Rpm)
1	54,67	56,22
2	53,35	51,80
Delta	1,32	4,42
Rank	2	1

Parameter proses yang paling berpengaruh dapat dilihat dari tabel 4.3 berikut.

Tabel 4. 3 Parameter Proses yang Paling Berpengaruh

Rank	1	2
Faktor	Suhu (°C) (210°C)	Kecepatan Putaran <i>Stepper Motor</i> 18 Rpm
Nilai	54,67	56,22



Gambar 4. 12 Grafik *S/N Rasio*

Berdasarkan Tabel 4.2 yang paling berpengaruh besar adalah Kecepatan Putaran *Stepper Motor*. Artinya parameter yang paling optimal dari pengujian kekuatan tarik adalah suhu (210°C) dan Kecepatan Putaran *Stepper Motor* (18 Rpm).

### 4.3 Perhitungan Rasio S/N terhadap Respon

Perhitungan rasio S/N adalah metode yang digunakan untuk memilih faktor yang mempengaruhi kuat tarik, dengan mengubah data menjadi nilai yang mengukur variasi yang terjadi. Nilai rasio S/N bergantung pada jenis karakteristik kualitas dari masing-masing respon. Dalam penelitian ini, perhitungan rasio S/N untuk respon kuat tarik menggunakan karakteristik kualitas "semakin besar, semakin baik" (Larger the better).

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

Spesimen dengan 3 kali replikasi, perhitungan Rasio S/N dapat dilihat perhitungannya dibawah ini :

Eksperimen Pertama,

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[ \frac{1}{3} \left( \frac{1}{59,4^2} + \frac{1}{54,3^2} + \frac{1}{52,8^2} \right) \right] = 34,85$$

Eksperimen Kedua,

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[ \frac{1}{3} \left( \frac{1}{51,8^2} + \frac{1}{44,2^2} + \frac{1}{65,5^2} \right) \right] = 34,29$$

Eksperimen Ketiga,

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[ \frac{1}{3} \left( \frac{1}{56,5^2} + \frac{1}{59,4^2} + \frac{1}{54,9^2} \right) \right] = 35,10$$

Eksperimen Keempat,

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[ \frac{1}{3} \left( \frac{1}{48,2^2} + \frac{1}{49,2^2} + \frac{1}{51,9^2} \right) \right] = 33,93$$

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Rasio S/N

Exp	A	B	Rep1	Rep2	Rep3	S/N
1	210	18	59,4	54,3	52,8	34,85
2	210	24	51,8	44,2	65,5	34,29
3	220	18	56,5	59,4	54,9	35,10
4	220	24	48,2	49,2	51,9	33,93

#### 4.4 Kontribusi

Untuk mengetahui kontribusi masing-masing parameter proses, dapat merujuk pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 *Analysis Of Variance*

Source	DF	Adj SS	Adj Ms	F-Value	P-Value
Suhu	1	0,003706	0,003706	0,04	0,873
Kecepatan <i>stepper</i> <i>motor</i>	1	0,750384	0,750384	8,27	0,213
Error	1	0,090693	0,90693		
Total	3	0,844784			

#### 4.5 Uji Konfirmasi

Untuk memverifikasi data yang dikumpulkan selama penelitian, dilakukan uji konfirmasi. Uji konfirmasi ini menggunakan parameter yang memiliki pengaruh paling signifikan terhadap hasil optimal penelitian dengan membandingkan rata-rata hasil uji konfirmasi dengan nilai optimal yang diperoleh. Dapat dilihat dari data yang ditunjukkan oleh tabel 4.4 bahwa nilai S/N rata rata tertinggi yaitu pada percobaan 3 dengan nilai 35,10 Mpa serta parameter suhu 220°C dan kecepatan putaran *stepper motor* 18 rpm. dari itu, percobaan 3 akan digunakan sebagai nilai optimum untuk uji konfirmasi.

Tabel 4. 6 Perbandingan Hasil Kombinasi Awal dan Kombinasi Optimum

<i>Exp</i>	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Rata-rata
1	59,4	54,3	52,8	34,85
Optimum	56,5	59,4	54,9	35,10

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan maka, dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil pengujian kekuatan tarik terhadap hasil *filament* didapatkan faktor yang optimal yaitu kecepatan putaran *stepper motor* kemudian suhu.
2. Hasil pengujian kekuatan tarik yang dilakukan didapatkan parameter optimum yaitu pada spesimen percobaan ke 3, dengan suhu 220°C, kecepatan putaran *stepper motor* 18 rpm, nilai rata-rata 56,9 Mpa dan S/N tertinggi 35,10 Mpa.

#### 5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, terdapat saran yaitu :

1. Disarankan menggunakan metode *taguchi* selain L<sub>4</sub> atau metode lainnya agar memperluas penelitian.
2. Disarankan menambahkan faktor dari mesin *3D printing* atau memperbanyak level yang digunakan dari mesin pembuat *filament 3D printing*.
3. Disarankan menggunakan banyak jenis kemasan mineral lainnya agar memperluas pengetahuan tentang kualitas kemasan mineral tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, H. (2019). APLIKASI 3D PRINTER FUSED DEPOSITE MATERIAL ( FDM ) PADA. *13*(2), 110–115.
- Akhir, T., Mesin, J. T., Industri, F. T., & Indonesia, U. I. (2020). PENGARUH SUHU DAN JENIS PLASTIK DALAM PEMBUATAN BIJI PLASTIK PADA MESIN EXTRUDER.
- Aryanto, P., Zaenudin, M., Saleh, Y., & Hidayat, N. C. (2023). PENGARUH SUHU DAN ANALISIS KEKUATAN MATERIAL PET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) TERHADAP EKSTRUSI PADA MESIN FILAMEN MAKER 3D PRINTER. *2*, 578–583.
- Avriansah, R., Erwanto, & Pristiansyah. (2022). OPTIMASI PARAMETER PROSES 3D PRINTING TERHADAP KEKUATAN TARIK FILAMENT POLYETHYLENE TEREPHTHALET GLYCOL. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, *2*(1), 394–400.
- Faustine, V. I. (2023). UPAYA PENGURANGAN SAMPAH PLASTIK DI LAUT INDONESIA BERDASARKAN KONVENSI BASEL 1980 DALAM RANGKA PEMENUHAN TARGET SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS KE-1. *Belli Ac Pacis*, *8*(2), 90.
- Febriansyah Rully, Anggry Adhe, P. (2022). PROSIDING SEMINAR NASIONAL PADA 3D PRINTING MATERIAL ABS. *27*.
- Kasma Wita, W., Malik, I., Effendi, S., Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, P., Teknik Mesin, J., Negeri Sriwijaya Jl Srijaya Negara, P., besar, B., Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya, J., Negeri Sriwijaya Srijaya Negara, P. J., & Besar, B. (2024). PENGARUH SUHU DAN KECEPATAN MOTOR MESIN PULTRUSION TERHADAP DIAMETER FILAMEN 3D PRINTING. *5*(2), 2723–3359.
- Khafidh, M. (2020). PENGARUH SUHU DAN JENIS PLASTIK DALAM

## PEMBUATAN BIJI PLASTIK PADA MESIN EXTRUDER.

- Mahfud, R., Setyoadi, Y., & Burhanudin, A. (2020). RANCANG BANGUN MESIN *FILAMENT EXTRUDER* YANG BERBASIS ARDIUNO MEGA2560 DENGAN METODE PENARIK DAN PENGULUNG OTOMATIS. *Science And Engineering National*, 5(Desember), 544–553.
- Mikula, K., Skrzypczak, D., Izydorzyc, G., Warchoł, J., Moustakas, K., Chojnacka, K., & Witek-Krowiak, A. (2021). 3D PRINTING FILAMENT AS A SECOND LIFE OF WASTE PLASTICS—A REVIEW. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(10), 12321–12333.
- Santoso, D. B. (2016). REKAYASA MESIN PEMBUAT FILAMEN DARI SAMPAH BOTOL PET UNTUK 3D PRINTING. Laporan Akhir Universitas Tidar, 01, 1–23.
- Saputra, W. R., Suzen, Z. S., & Pristiansyah, P. (2023). PENGARUH PARAMETER PROSES TERHADAP KUAT TARIK PRODUK HASIL 3D PRINTING MENGGUNAKAN FILAMEN ASA (*ACRYLONITRILE STYRENE ACRYLATE*). *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah Dan Teknologi Teknik Mesin*, 7(2), 73–78.
- Setiawan, A. (2017). PENGARUH PARAMETER PROSES EKTRUSI 3D PRINTER TERHADAP SIFAT MEKANIS CETAK KOMPONEN BERBAHAN *FILAMENT PLA (POLYLACTIDE ACID)*. 4(2), 20–27.
- Setyawan, B. A., & Ngadiyono, Y. (2022). ANALISIS PENGARUH TINGKAT KELEMBABAN FILAMEN PLA TERHADAP NILAI KEKUATAN MEKANIK HASIL CETAK 3D. 7(April), 1–11.
- Taufik, M., Suryani Lubis, G., Ivanto, M., Studi Teknik Mesin, P., Tanjungpura, U., & Hadari Nawawi, J. H. (2023). RANCANG BANGUN MESIN PULTRUSION PEMBUAT FILAMEN 3D PRINTING BERBASIS LIMBAH PLASTIK BOTOL PET. *Lubis & Ivanto*, 4(1), 1–08.
- Tzotzis, A., Manavis, A., Efkolidis, N., García-Hernández, C., & Kyratsis, P.

(2024). ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF STRUCTURAL CHARACTERISTICS ON THE TENSILE PROPERTIES OF FUSED FILAMENT FABRICATED ABS POLYMER USING CENTRAL COMPOSITE DESIGN. *Applied Mechanics*, 5(1), 20–35.

UMAM, N. (2023). RANCANG BANGUN ALAT PEMBENTUK FILAMENT 3D PRINTER DARI BOTOL PLASTIK MERK CRYSTALIN DAN CLUB (*Doctoral dissertation*, Universitas Diponegoro).



## LAMPIRAN 1

### DAFTAR RIWAYAT HIDUP

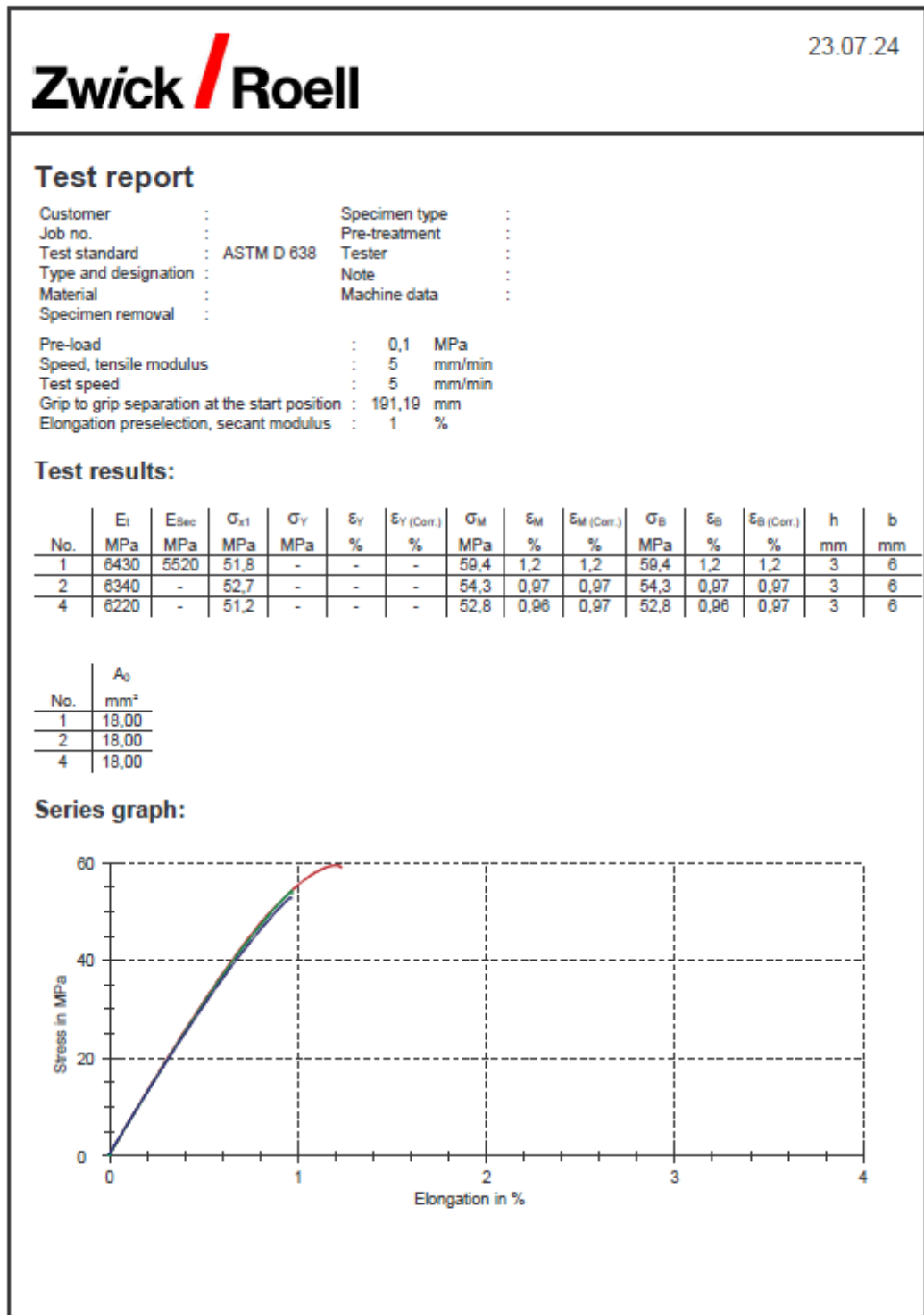
#### Data Pribadi

Nama Lengkap : Azora Esya Abinda  
Tempat dan Tanggal Lahir : Muntok, 17 Maret 2003  
Alamat : Muntok, Kec. Bangka Barat  
Jenis Kelamin : Perempuan  
Agama : Islam  
Email : [Azoraesyaa@gmail.com](mailto:Azoraesyaa@gmail.com)

Sungailiat, 29 Juli 2024

Azora Esya Abinda

## Lampiran 2



## Statistics:

Series	E <sub>t</sub>	E <sub>sec</sub>	σ <sub>x1</sub>	σ <sub>y</sub>	ε <sub>y</sub>	ε <sub>y (Corr.)</sub>	σ <sub>M</sub>	ε <sub>M</sub>	ε <sub>M (Corr.)</sub>	σ <sub>B</sub>	ε <sub>B</sub>	ε <sub>B (Corr.)</sub>	h
n = 3	MPa	MPa	MPa	MPa	%	%	MPa	%	%	MPa	%	%	mm
x	8330	5520	51,9	-	-	-	55,5	1,0	1,1	55,5	1,0	1,1	3
s	105	-	0,726	-	-	-	3,47	0,14	0,14	3,47	0,14	0,14	0,000
v	1,66	-	1,40	-	-	-	6,24	13,13	12,98	6,24	13,13	12,98	0,00

Series	b	A <sub>0</sub>
n = 3	mm	mm <sup>2</sup>
x	8	18,00
s	0,000	0,00
v	0,00	0,00

## Test report

Customer : Specimen type :  
 Job no. : Pre-treatment :  
 Test standard : ASTM D 638 Tester :  
 Type and designation : Note :  
 Material : Machine data :  
 Specimen removal :

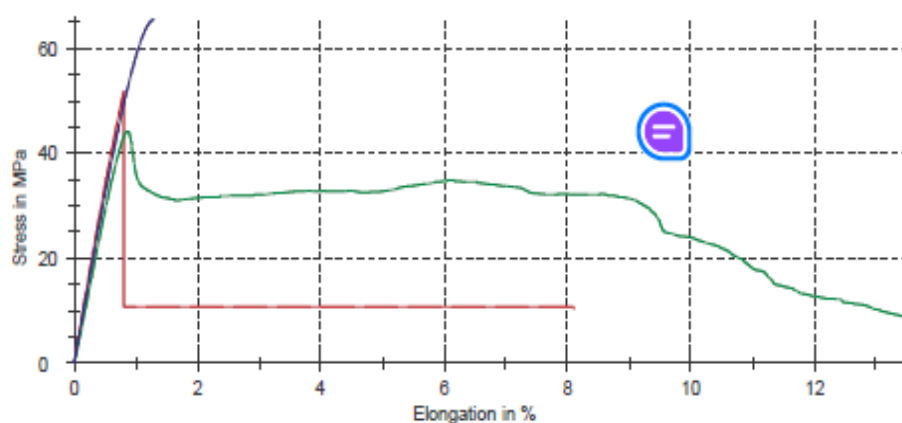
Pre-load : 0,1 MPa  
 Speed, tensile modulus : 5 mm/min  
 Test speed : 5 mm/min  
 Grip to grip separation at the start position : 191,19 mm  
 Elongation preselection, secant modulus : 1 %

### Test results:

No.	E <sub>t</sub> MPa	E <sub>sec</sub> MPa	σ <sub>Y1</sub> MPa	σ <sub>Y</sub> MPa	ε <sub>Y</sub> %	ε <sub>Y (Corr.)</sub> %	σ <sub>M</sub> MPa	ε <sub>M</sub> %	ε <sub>M (Corr.)</sub> %	σ <sub>B</sub> MPa	ε <sub>B</sub> %	ε <sub>B (Corr.)</sub> %	h mm	b mm
1	6880	1070	48,9	51,8	0,81	0,81	51,8	0,81	0,81	10,3	8,1	8,1	3	6
2	5960	3560	44,1	44,2	0,87	0,86	44,2	0,87	0,86	8,84	13	13	3	6
3	6550	5840	57,3	-	-	-	65,5	1,3	1,3	65,5	1,3	1,3	3	6

No.	A <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>
1	18,00
2	18,00
3	18,00

### Series graph:



## Statistics:

Series	E <sub>t</sub>	E <sub>sec</sub>	σ <sub>x1</sub>	σ <sub>y</sub>	ε <sub>y</sub>	ε <sub>y (Corr.)</sub>	σ <sub>M</sub>	ε <sub>M</sub>	ε <sub>M (Corr.)</sub>	σ <sub>B</sub>	ε <sub>B</sub>	ε <sub>B (Corr.)</sub>	h
n = 3	MPa	MPa	MPa	MPa	%	%	MPa	%	%	MPa	%	%	mm
x	6460	3500	50,1	48,0	0,84	0,83	53,8	0,99	0,98	28,2	7,6	7,6	3
s	468	2380	6,67	5,36	0,043	0,034	10,8	0,26	0,26	32,3	6,1	6,1	0,000
v	7,25	68,13	13,31	11,16	5,18	4,05	20,02	26,52	26,70	114,44	80,09	80,03	0,00

Series	b	A <sub>0</sub>
n = 3	mm	mm <sup>2</sup>
x	6	18,00
s	0,000	0,00
v	0,00	0,00

## Test report

Customer : Specimen type :  
 Job no. : Pre-treatment :  
 Test standard : ASTM D 638 Tester :  
 Type and designation : Note :  
 Material : Machine data :  
 Specimen removal :

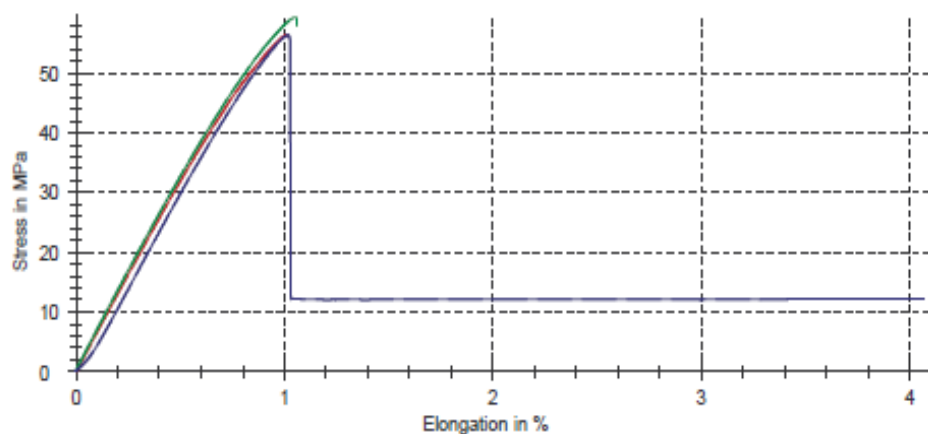
Pre-load : 0,1 MPa  
 Speed, tensile modulus : 5 mm/min  
 Test speed : 5 mm/min  
 Grip to grip separation at the start position : 191,19 mm  
 Elongation preselection, secant modulus : 1 %

### Test results:

No.	E <sub>t</sub> MPa	E <sub>sec</sub> MPa	σ <sub>x1</sub> MPa	σ <sub>y</sub> MPa	ε <sub>y</sub> %	ε <sub>y (Corr.)</sub> %	σ <sub>M</sub> MPa	ε <sub>M</sub> %	ε <sub>M (Corr.)</sub> %	σ <sub>B</sub> MPa	ε <sub>B</sub> %	ε <sub>B (Corr.)</sub> %	h mm	b mm
1	6490	5630	54,1	-	-	-	56,5	1,0	1,0	56,5	1,0	1,0	3	6
2	6640	5790	55,5	-	-	-	59,4	1,1	1,1	59,4	1,1	1,1	3	6
3	6100	-	54,9	56,4	1,0	0,99	-	-	-	-	-	-	3	6

No.	A <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>
1	18,00
2	18,00
3	18,00

### Series graph:



## Statistics:

Series	E <sub>t</sub>	E <sub>Sec</sub>	σ <sub>x1</sub>	σ <sub>y</sub>	ε <sub>y</sub>	ε <sub>y (Corr.)</sub>	σ <sub>M</sub>	ε <sub>M</sub>	ε <sub>M (Corr.)</sub>	σ <sub>B</sub>	ε <sub>B</sub>	ε <sub>B (Corr.)</sub>	h
n = 3	MPa	MPa	MPa	MPa	%	%	MPa	%	%	MPa	%	%	mm
x	6410	5710	54,8	56,4	1,0	0,99	57,9	1,0	1,0	57,9	1,0	1,0	3
s	277	113	0,697	-	-	-	2,07	0,030	0,034	2,07	0,030	0,034	0,000
v	4,32	1,98	1,27	-	-	-	3,57	2,98	3,31	3,57	2,98	3,31	0,00

Series	b	A <sub>0</sub>
n = 3	mm	mm <sup>2</sup>
x	8	18,00
s	0,000	0,00
v	0,00	0,00

## Test report

Customer : Specimen type :  
 Job no. : Pre-treatment :  
 Test standard : ASTM D 638 Tester :  
 Type and designation : Note :  
 Material : Machine data :  
 Specimen removal :

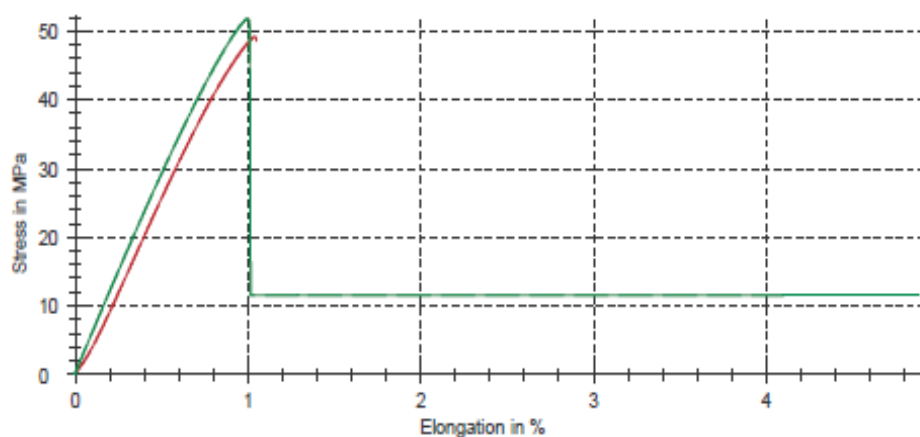
Pre-load : 0,1 MPa  
 Speed, tensile modulus : 5 mm/min  
 Test speed : 5 mm/min  
 Grip to grip separation at the start position : 191,19 mm  
 Elongation preselection, secant modulus : 1 %

### Test results:

No.	E <sub>t</sub> MPa	E <sub>sec</sub> MPa	σ <sub>x1</sub> MPa	σ <sub>y</sub> MPa	ε <sub>y</sub> %	ε <sub>y</sub> (Corr.) %	σ <sub>M</sub> MPa	ε <sub>M</sub> %	ε <sub>M</sub> (Corr.) %	σ <sub>B</sub> MPa	ε <sub>B</sub> %	ε <sub>B</sub> (Corr.) %	h mm	b mm
φ 1	5670	1060	48,2	48,2	0,96	0,94	48,2	0,96	0,94	-	-	-	3	8
2	5040	4880	-	-	-	-	49,2	1,0	1,0	49,2	1,0	1,0	3	6
3	5920	-	50,6	51,9	1,0	-	-	-	-	-	-	-	3	6

No.	A <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>
φ 1	18,00
2	18,00
3	18,00

### Series graph:



## Statistics:

Series	E <sub>t</sub>	E <sub>sec</sub>	σ <sub>x1</sub>	σ <sub>y</sub>	ε <sub>y</sub>	ε <sub>y (Corr.)</sub>	σ <sub>M</sub>	ε <sub>M</sub>	ε <sub>M (Corr.)</sub>	σ <sub>B</sub>	ε <sub>B</sub>	ε <sub>B (Corr.)</sub>	h
n = 2	MPa	MPa	MPa	MPa	%	%	MPa	%	%	MPa	%	%	mm
$\bar{x}$	5480	4880	50,8	51,9	1,0	-	49,2	1,0	1,0	49,2	1,0	1,0	3
s	623	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000
v	11,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00

Series	b	A <sub>0</sub>
n = 2	mm	mm <sup>2</sup>
$\bar{x}$	6	18,00
s	0,000	0,00
v	0,00	0,00