

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Prosedur Penelitian**

Dalam penelitian ini prosedur penelitian digunakan untuk menjelaskan langkah-langkah proses penelitian dari proses desain hingga menjadi sebuah spesimen berbasis 3D printing. Tahap awal dengan pembuatan desain gambar tiga dimensi menggunakan program (CAD) yaitu inventor professional 2015 dengan format desain .G-code. Tahap selanjutnya pengolahan data menggunakan parameter dan dimasukkan pada program Slic3r. parameter data yang sudah di masukkan selanjutnya dilakukan proses slicing menggunakan software utama 3D printing Repertier-Host dan akan berjalan secara otomatis dalam proses pencetakan yang terhubung langsung dengan mesin 3D-Printer. Setelah proses pencetakan spesimen selesai selanjutnya dilakukan pengukuran akurasi dimensi untuk pembandingan dengan parameter yang digunakan dan pengambilan data pengujian bending atau lentur. Data yang sudah diperoleh akan diolah dengan analisis pembandingan.

#### **3.2 Tempat Penelitian**

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekatronika Teknik Mesin Gedung G6 lantai 2 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

#### **3.3 Tempat Pengujian Bending**

Pengujian bending atau uji lentur dilakukan di laboratorium Universitas Sebelas Maret (UNS) Solo menggunakan mesin uji 3-point bending *Universal Testing Machine* (UTM) dan Akademi Teknik Mesin Indonesia Surakarta (ATMI) menggunakan mesin uji bending *Zwick-Roell*.

### 3.4 Alat Penelitian

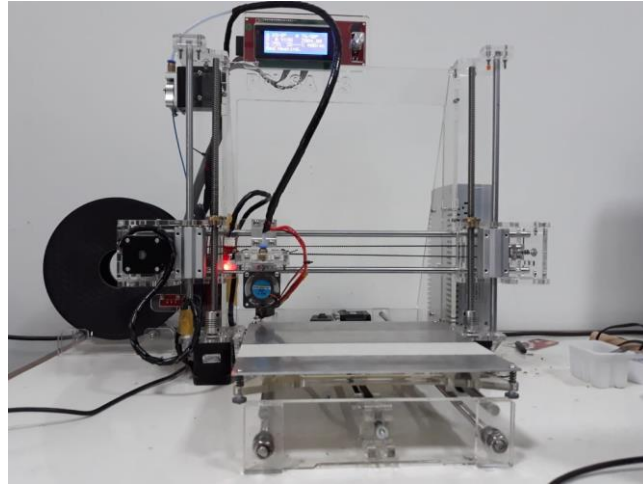
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. 3D Printer Prusa-i3

Pada penelitian ini menggunakan mesin 3D Printing berbasis FDM yaitu 3D Printer Prusa-i3 seperti yang terdapat pada gambar 3.1. Spesifikasi mesin 3D printer Prusa-i3 diuraikan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Spesifikasi 3D *Printer* Pursa-I3

<i>Frame</i>	<i>Acrylic + Threaded rod</i>
<i>Print size (X Y Z)</i>	200 x 200 x 180 mm
<i>Layer thickness</i>	0.1 mm-0.4 mm
<i>Print speed</i>	40 – 100 mm/s
<i>Z axis positioning accuracy</i>	0.004 mm
<i>X Y axis positioning accuracy</i>	0.012 mm
<i>Printer filament</i>	ABS, PLA, HIPS, PVA, wood, nylon
<i>Filament diameter</i>	1.75 mm
<i>Nozzle diameter</i>	0.4 mm ( <i>customized</i> 0.3 mm-0.5 mm)
<i>Print bed size</i>	200 x 200 mm.
<i>Print bed (build platform)</i>	<i>Heated aluminium platform</i>
<i>Max heated bed temperature</i>	± 110°C ( <i>adjustable</i> ).
<i>Max extruder temperature</i>	± 240°C
<i>Number of Extruders</i>	1 <i>Bowden Design Extruder</i>
<i>Hot end</i>	E3D V5
<i>Display</i>	LCD
<i>Interface</i>	USB, LCD <i>display and SD card reader</i>
<i>3D printer Control Software</i>	Repetier-Host
<i>CAD Input data file format</i>	STL, OBJ, G-code
<i>Operating system</i>	Windows/ Linux/ mac
<i>Power</i>	170 W
<i>Machine size</i>	430 mm x 505 mm x 380 mm
<i>Machine weight</i>	8 kg



Gambar 3.1. 3D Printer Prusa-I3

## 2. Tools

### 2.1 Kunci L

Kunci L digunakan untuk melepas dan memasang baut pengunci pada part mesin yang berfungsi sebagai tempat filament, ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Kunci L

## 2.2 Tool Set Obeng

Tools set obeng digunakan untuk melepas dan memasang serta mengatur bagian-bagian yang ada mesin 3D printer seperti bed, fan, ekstruder, dll, ditunjukkan pada gambar 3.3



Gambar 3.3. Tool Set

## 2.3 Pinset

Pinset digunakan untuk membersihkan sisa-sisa filament yang tidak menempel sempurna pada spesimen yang dibuat agar tidak mengganggu jalanya proses pembentukan benda serta untuk melepas atau mengangkat specimen yang menempel pada bed saat proses pencetakan selesai, ditunjukkan pada gambar 3.4



Gambar 3.4. Pinset

#### 2.4 Masking Tape

Masking tape digunakan sebagai pelapis papan bed yang berfungsi sebagai dasar pencetakan specimen. Ditunjukkan pada gambar 3.5



Gambar 3.5 Masking Tape

#### 2.5 Digital Caliper

*Digital caliper* digunakan untuk mengukur akurasi dimensi terhadap produk yang dibuat hasil *3D-printer*. Pengukuran akurasi dimensi meliputi panjang (Lo), lebar (Wo), dan tebal (T) pada specimen atau produk. Ditunjukkan pada gambar 3.6.

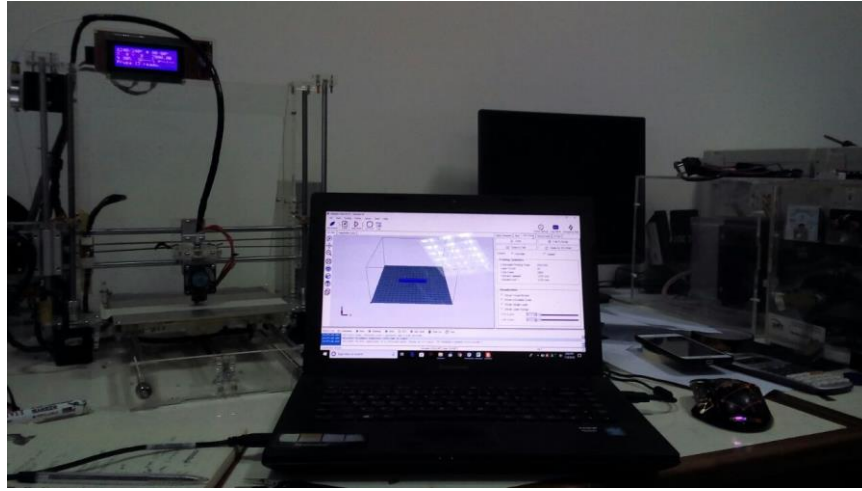


Gambar 3.6. Digital Caliper

### 3. Perangkat Komputer

Perangkat Komputer yang digunakan untuk melakukan penelitian dengan program pencetak 3D printing ini adalah Lenovo G410 ditunjukkan pada gambar 3.7





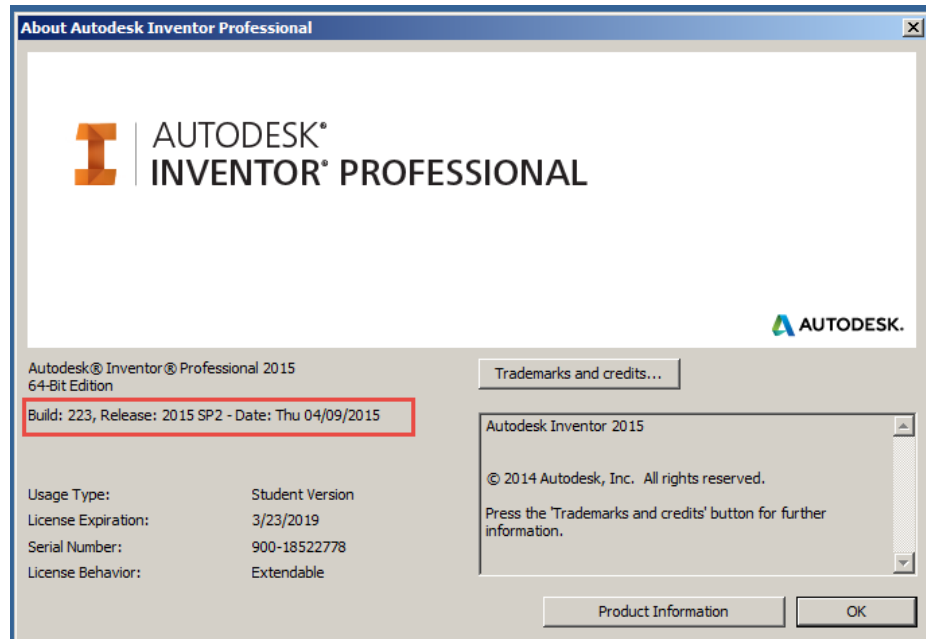
Gambar 3.7. Spesifikasi Lenovo G410

#### 4. Software

Ada beberapa software atau program pendukung yang digunakan dalam pencetakan spesimen menggunakan alat 3D printing antara lain :

##### 4.1 Software Desain Inventor 2017

Software desain inventor 2017 digunakan dalam pembuatan gambar CAD dengan format .stl file atau .G file yang nantinya akan dikonversikan dengan program 3D printing menjadi desain siap cetak. Inventor 2017 yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.8.



Gambar 3.8. *Software* Inventor Profesional 2015

#### 4.2 Software Slic3r.

Software Slic3r digunakan dalam pengkonversian gambar desain CAD menjadi bahasa program G-Code. Pengkonversian tersebut sekaligus menambahkan parameter yang digunakan dalam penelitian. Pengaturan parameter yang digunakan disimpan dalam format INI. File Slic3r. ditunjukkan pada gambar 3.9.

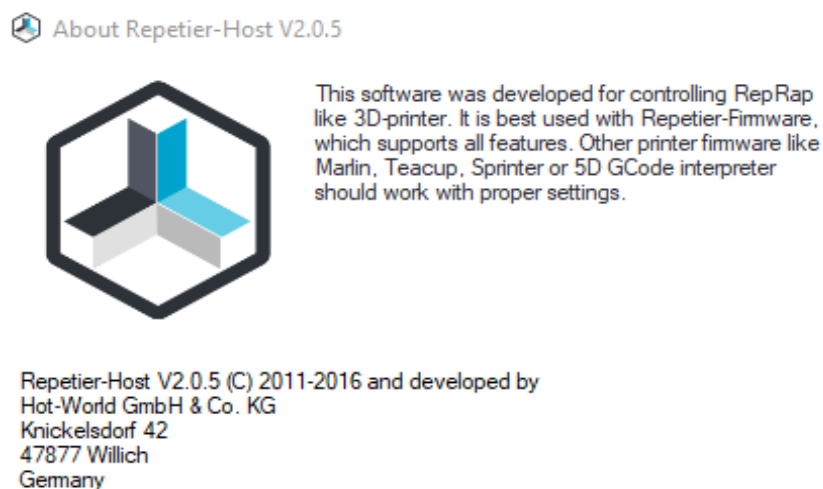




Gambar 3.9. Slic3r Prusa Edition

#### 4.3 Software Repetier-Host

Repetier-Host digunakan pada proses pencetakan. Setelah pengkonversian desain CAD dengan bahasa G-code yang disebut dengan slicing telah selesai dilakukan Repetier-Host akan memasukan perintah pencetakan sesuai slicing yang sudah ditentukan sebelumnya. Repetier-Host juga berfungsi untuk memonitoring jalannya pencetakan dengan beberapa tombol pengaturan mulai dari start, option parameter, sampai emergency stop sebagai tombol pengaman. Repetier Host ditunjukkan pada gambar 3.10



Gambar 3.10. Repetier-Host V2.0.5

#### 4.4 Software Minitab

Minitab merupakan program berbasis statistik yang digunakan untuk membuat variasi data parameter pada proses 3D printing. Digunakan sebagai alat penghitung regresi untuk memilih tipe metode dalam penelitian. Selain itu minitab juga dapat digunakan untuk menentukan variasi parameter dan factor yang berpengaruh terhadap variable secara acak atau random pada metode DOE. Program Minitab ditunjukkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. Minitab 2018

#### 5. Universal Testing Machine (UTM) Bending



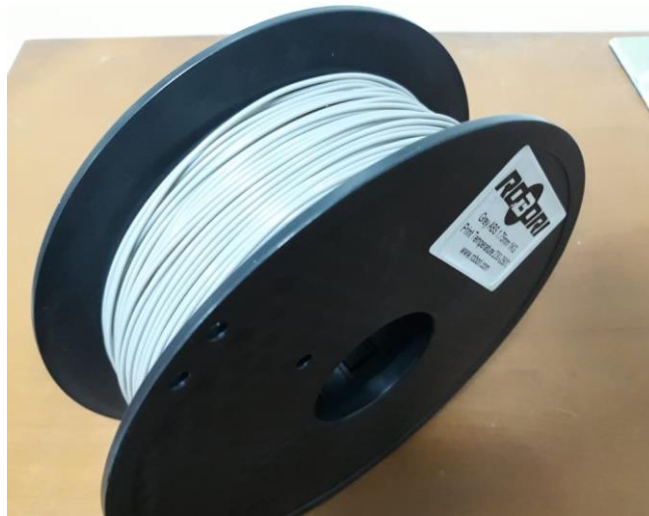
Gambar 3.12. Universal Testing Machine Bending

Tabel 3.2 Spesifikasi alat uji bending

Load capacity	2000kgf
Driving method	400W AC servo motor/ servo driver via reducing motor, transmit by high precision ball screws
Resolution	1/20,000
Accuracy	±0.5%
Test speed range	0~1000mm/min
Spacing of crosshead for mounting grip	Max. 900mm (exclude the grips)
Crosshead speed and permitted force	Full speed in rated capacity
Effective test width	400mm
Indicator	Computer display.
Load cell	High precision. Japan N.T.S made or equivalent made in America
Force	kN, kg, lb, g, N, ton
Elongation	mm, cm, inch
Dimension: approx	900x600x1500mm (W) x (D) x (H)mm
Weight approx	200 kg
Power requirements	220V/60HZ, or selected by customers.
Conforms to national standard	ISO, ASTM, DIN, EN, GB, BS, JIS, CNS, UL.. .etc standard requirement.

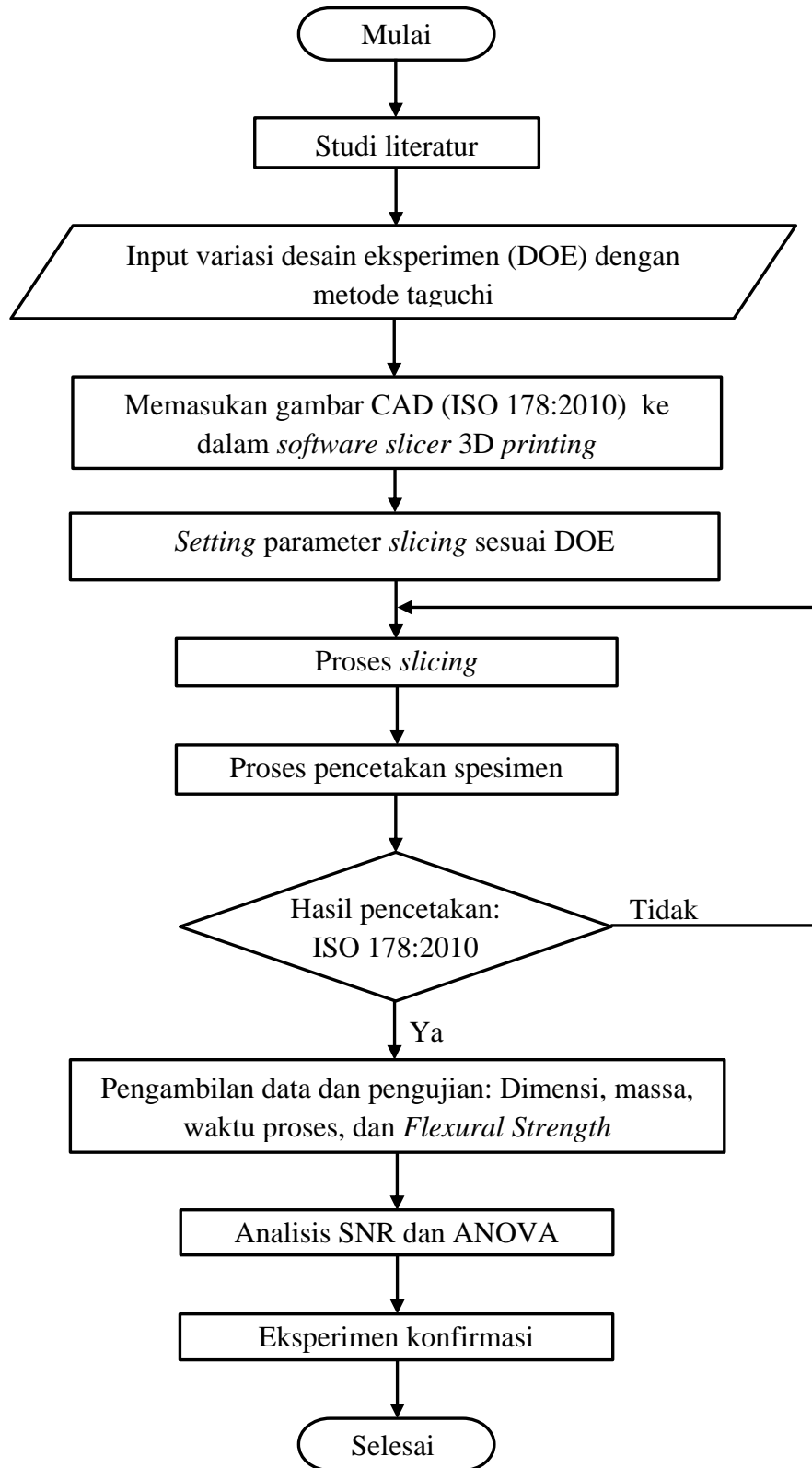
### 3.5 Bahan Penelitian

Bahan penelitian ini menggunakan material polimer berupa filament dengan spesifikasi diameter 1.75mm. Tipe polimer atau Filamen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Acronitrile Butadine Styrene (ABS) berwarna dasar abu-abu. ABS yang digunakan dapat ditunjukkan pada gambar 3.13



Gambar 3.13 Filament ABS

### 3.6. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.14 Diagram alir penelitian

### **3.7 Design of Experiment**

Metode *design of experiment* (DOE) digunakan untuk menentukan variasi parameter dalam proses pencetakan 3D printing. Metode ini menentukan desain factorial dan data variasi parameter para proses slicing untuk menentukan jumlah eksperimen dan mendapatkan informasi sebanyak mungkin dari semua factor yang berpengaruh terhadap parameter.

#### **3.7.1 Menentukan Variasi Parameter Proses (Faktor Kontrol)**

Dalam penelitian ini metode DOE yang dilakukan masing masing menggunakan pada tiga variasi parameter dan level perubahan. Parameter yang digunakan antara lain *extrusion width* (mm), *nozzle temperature* (°C), *feedrate* atau kecepatan pencetakan. Parameter proses ditentukan dari besar nilai setiap level yang digunakan dalam penelitian berasal dari spesifikasi data material yang dipilih yaitu tipe ABS, dari studi literatur penelitian terdahulu serta perhitungan-perhitungan teoritis sesuai metode yang digunakan.

##### *1. Extrusion Width*

Pada *software* Slic3r lebar ekstrusi seperti yang diasumsikan tinggi lapisan hanya berhubungan dengan lebar dan bukan dengan tingginya. Lebar ekstrusi hanya menginformasikan kepada printer seberapa lebar untuk membuat garis dan tidak memperngaruhi apapun secara fisik melainkan hanya kecepatan cetak.

##### *2. Nozzle temperature*

Pada penentuan parameter temperature yang digunakan dalam proses mengacu pada filament yang digunakan pada hal ini ABS sebagai filament.

Tabel 3.3. Data Sheet of Robori 3D filament (Robori.com)

Spesifikasi	Nilai
Material	ABS
Diameter	1,75mm
Warna	Grey / Abu-abu
Berat Bersih	1 kg
Temperatur Print	230 - 250 °C

Dari data sheet filamen yang diperoleh bahwa temperature proses pada filament ABS yaitu diantara 230-250°C. Dalam penelitian ini *nozzle temperature* yang digunakan merujuk pada rentang batas minimum dan maksimum dari filament ABS. Dihitung dari level temperatur yang digunakan pada level satu sebesar 230°C, level dua sebesar 240°C, dan level tiga sebesar 250°C.

### 3. *Feedrate*

Pada proses pembuatan spesimen menggunakan mesin 3D printer terdapat konfigurasi untuk pemilihan kecepatan proses. *Feedrate* di tunjukkan dalam persentase (%) berdasarkan kegunaanya *feedrate* atau kecepatan proses dapat berpengaruh dalam hal estimasi pembuatan setiap spesimennya. Disisi lain pada pemilihan *feedrate* atau kecepatan juga dapat mempengaruhi proses perekatan filament yang terekstrusi pada *bed* sebagai tempat jatuhnya filament. Pada penelitian ini kecepatan proses atau *feedrate* yang digunakan dalam pembuatan spesimen uji bending sebesar 80 %, 90 %, dan 100 %.

Berdasarkan uraian diatas tentang parameter yang digunakan pada penelitian sebelumnya, dalam penelitian ini nilai level parameter proses dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

### 3.7.2 Variabel Respon

Pada penelitian ini telah ditentukan beberapa variabel respon karakteristik bahan yang akan dilakukan uji coba meliputi kekuatan lentur, massa produk, dimensi produk, serta waktu proses pencetakan. Untuk hasil kekuatan lentur dan dimensi

produk dapat dianalisis menggunakan metode Taguchi ANOVA untuk melihat hasil pengaruh pada setiap spesimen yang diberikan parameter proses pada produk 3D printing material ABS.

### 3.7.3 Desain Faktorial

Desain faktorial pada penelitian ini digunakan untuk kombinasi parameter proses yang digunakan pada pembuatan spesimen menggunakan 3D Printing dan menggunakan aplikasi pendukung yaitu minitab. Desain faktorial sendiri merupakan metode turunan dari metode Taguchi, pada penelitian ini desain faktorial yang digunakan yaitu array orthogonal (AO) L9 ( $3^3$ ) dimana percobaan akan dilakukan sebanyak sembilan kali percobaan dan ada empat parameter proses serta tiga perubahan pada variabel dalam setiap faktor parameteranya. Selanjutnya dilakukan duplikasi sebanyak tiga kali pada setiap faktornya. Desain faktorial dalam penelitian ini di gambarkan dalam tabel berikut

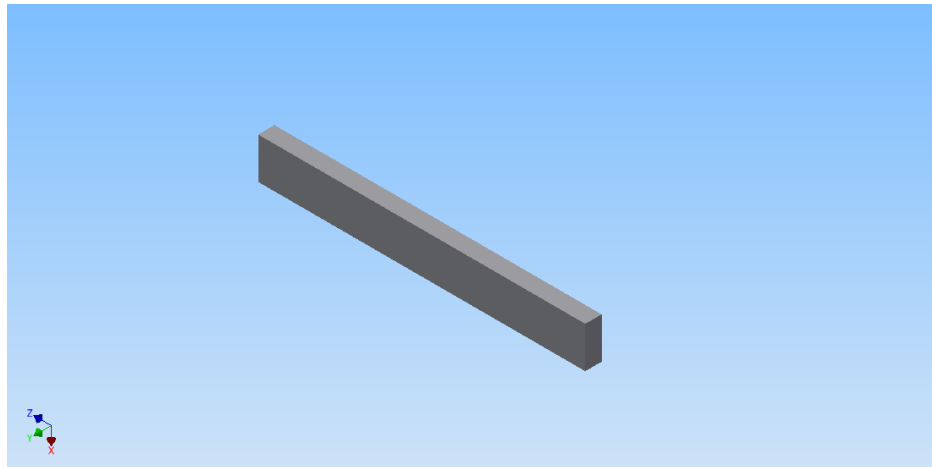
Tabel 3.4. Matrik Orthogonal L9 ( $3^3$ )

Nozzle Temperature	Extrusion Width	Feedrate
1	1	1
1	2	2
1	3	3
2	1	2
2	2	3
2	3	1
3	1	3
3	2	1
3	3	2



### 3.8 Desain Gambar CAD

Desain spesimen pada penelitian ini menggunakan *software* CAD yaitu Autodesk Inventor Profesional 2015. Desain dibuat menggunakan format .STL atau .G sebagai format yang dapat di konversi oleh *software slicing* Slic3r dan Repetier-Host menjadi desain siap cetak berdasarkan ukuran yang sudah ditentukan dan selanjutnya akan dimasukkan parameter proses pencetakan. Desain spesimen yang akan dibuat serta di gunakan dalam penelitian ini merujuk pada ISO 178:2010 terkait tentang *plastics-determination of flexural properties* dengan dimensi standar ISO yaitu tebal 4mm, panjang 80mm, serta lebar 10mm. Desain spesimen dan dimensi uji bending ISO 178:2010 ditunjukkan pada gambar 3.14.



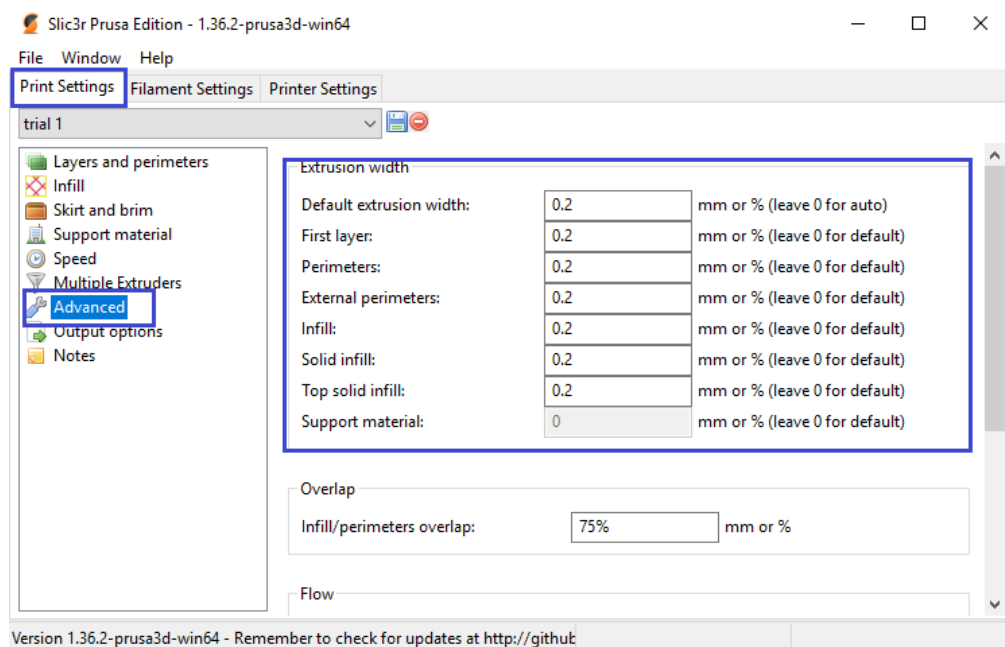
Gambar 3.15 Desain CAD spesimen

### 3.9 Slicing

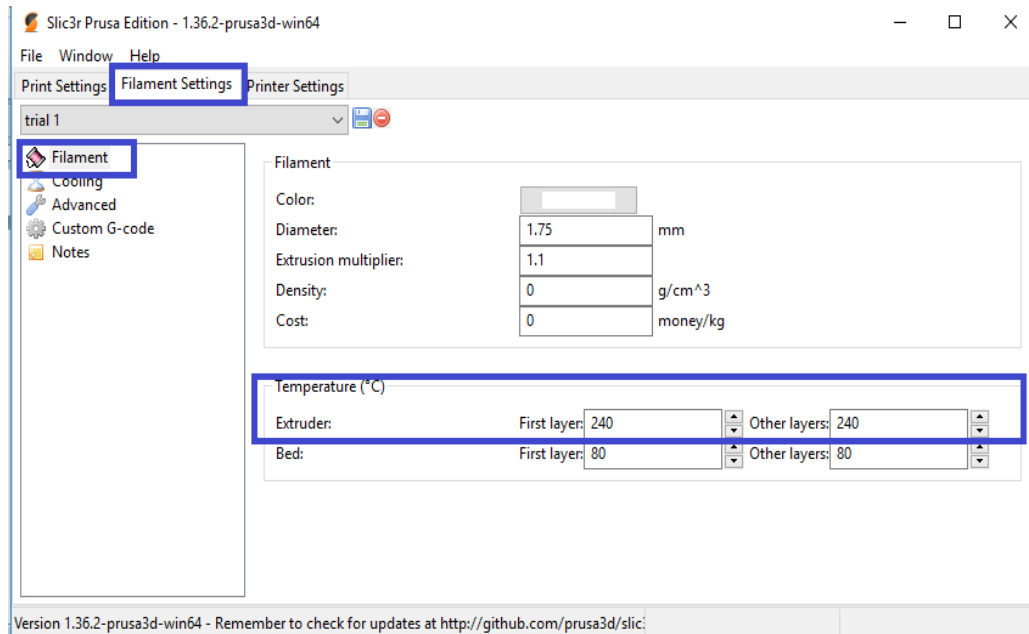
Proses pembuatan spesimen setelah melewati proses desain menggunakan *software* CAD akan dilanjutkan dengan proses *slicing* dengan mengkonversi desain berbasis format .STL atau .G dari desain CAD menggunakan *software* bernama slic3r. proses *slicing* memberikan informasi tentang proses pencetakan dari waktu pencetakan, total jumlah lapisan, serta jumlah filament yang digunakan. *Software slicing* yang digunakan yaitu slic3r Prusa Edition untuk membuat G-code yang

disematkan pada asoftware 3D *printing* tools yaitu Repertier-Host dan akan dihubungkan dengan mesin 3D *printing*. Tahapan prosedur slicing diuraikan sebagai berikut :

1. Memasukkan file CAD dengan format .STL atau .G pada software Repertier-Host.
2. Mengatur konfigurasi parameter pada slic3r Prusa Edition. Konfigurasi parameter yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *nozzle temperature*, *extrusion width*, dan *feedrate*, ditunjukkan pada tabel 3.4.
3. Pada *software* slic3r parameter yang dimasukan sebagai berikut:
  - a. Pada konfigurasi *extrusion width* dilakukan pada menu *advanced* pada tab *print setting* dengan memasukan harga *extrusion width* yang sudah ditentukan pada parameter proses sebelumnya seperti pada gambar 3.15 berikut.

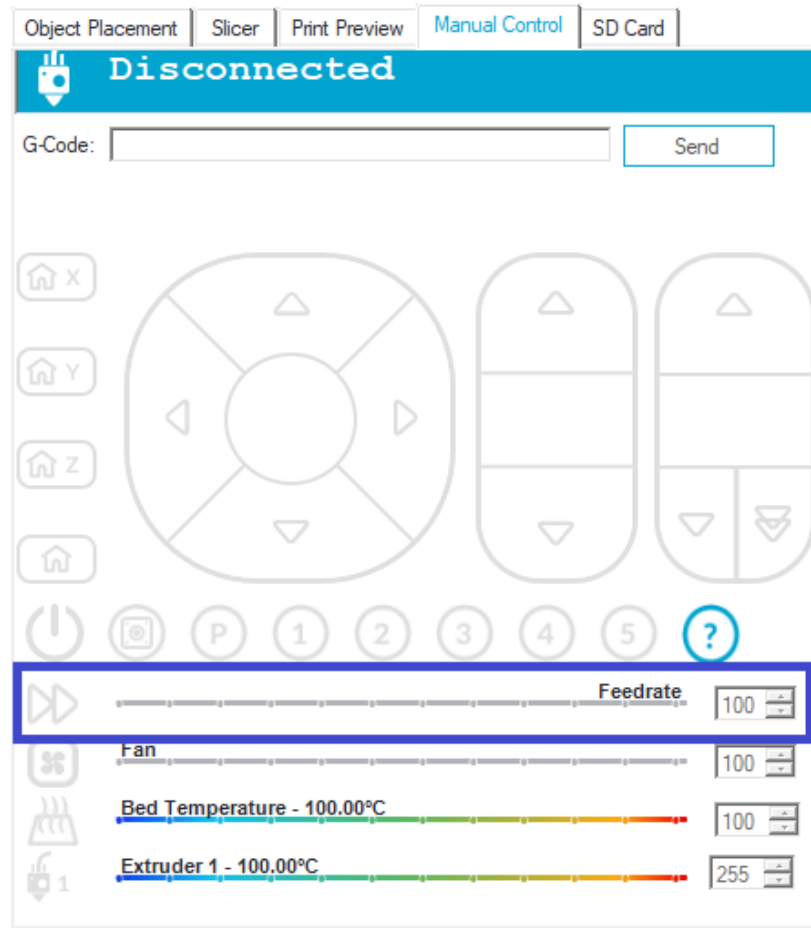


Gambar 3.16. Pengaturan *Extrusion Width*



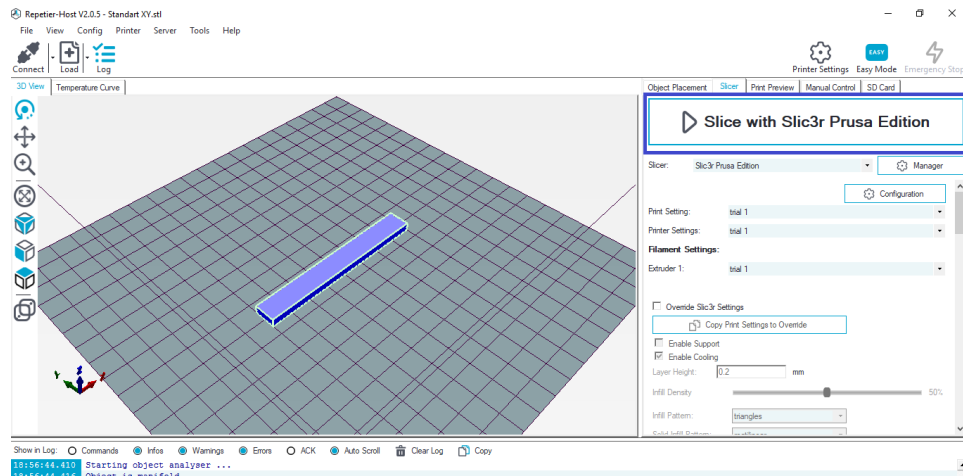
Gambar 3.17. Pengaturan *Nozzle Temperature*

- b. Pada konfigurasi *nozzle temperature* dilakukan pada menu filament yang terdapat pada tab filament setting dengan memasukkan harga yang sudah ditentukan pada kolom *temperature extruder* seperti pada gambar 3.16. berikut.
- c. Pada konfigurasi *feedrate* terdapat pada menu *manual control*, berbeda dengan konfigurasi yang lain dalam parameter proses *feedrate* atau kecepatan dilakukan saat proses *bed heating* dan *extruder heating* berjalan seperti pada gambar 3.17.

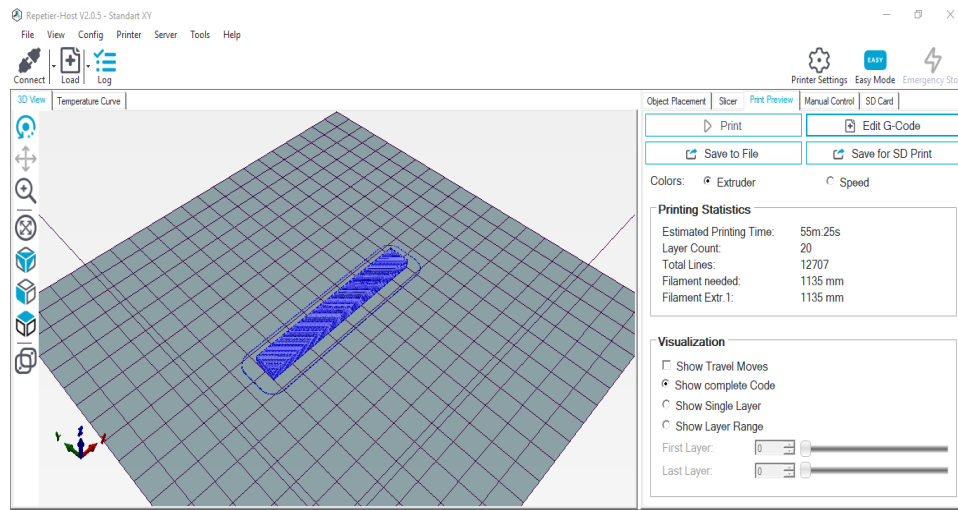


Gambar 3.18. Pengaturan *Feedrate*

4. Selanjutnya proses *slicing* menggunakan tombol Slice with Slic3r Prusa Edition dan tunggu hingga proses *slicing* selesai. Visualisasi terhadap produk yang akan dibuat setelah melewati proses *slicing* ditunjukkan pada gambar 3.18 dan 3.19



Gambar 3.19. Proses Slicer



Gambar 3.20. Hasil Proses Slicer

### 3.10 Proses Printing

Tahapan prosedur pengoperasian 3D *printing* dan proses pencetakan adalah sebagai berikut :

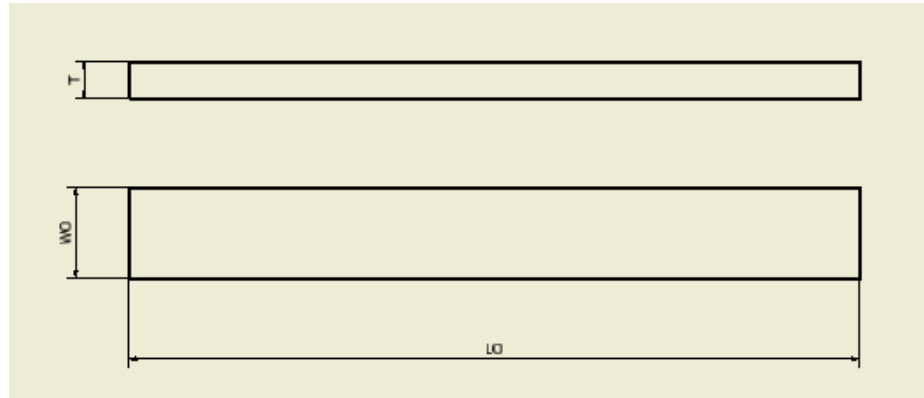
1. Mempersiapkan filamen yang digunakan pada penelitian kali ini menggunakan filament ABS dan memasang filemen di tempat yang tersedia pada perangkat mesin 3D printing.

2. Memasang segala bentuk perangkat kelistrikan sebagai sarana utama memulai proses pencetakan.
3. Menghubungkan perangkat kabel 3D *printing* dengan perangkat laptop menggunakan kabel USB, kemudian menjalankan software pendukung Repertier-Host untuk melakukan proses slicing pada desain spesimen CAD.
4. Hubungkan *software* dengan perangkat 3D *printing* dengan menekan tombol atau menu connect yang terdapat pada *software* Repertier-Host.
5. Setelah semua proses selesai baik *slicing* dan pengaturan parameter selanjutnya menekan menu atau tombol print untuk menjalankan proses pencetakan.
6. Setelah proses pencetakan selesai selanjutnya adalah melakukan pengangkatan produk yang dicetak dari bed pada perangkat 3D printer. Namun pada proses ini membutuhkan waktu agar spesimen atau produk yang jatuh pada *bed* tidak terdeformasi karena masih pada suhu yang tinggi.

### **3.11 Pengukuran Dimensi Spesimen**

Spesimen yang telah dicetak pada 3D *printing* dilakukan proses pengukuran untuk mengetahui tingkat keakurasian produk desain dengan produk jadi. Dimensi spesimen yang digunakan merujuk pada standar ISO 178:2010. Pengukuran dilakukan menggunakan alat bantu yaitu jangka sorong atau caliper. Dimensi yang termasuk dalam pengukuran yaitu *overall length* (L), *width* (B), *Thickness* (H).

Tabel properties pengukuran dimensi merujuk pada standar ISO 178:2010 ditunjukkan pada gambar 3.20 dan tabel 3.5 berikut.



Gambar 3.21. Pengukuran spesimen ISO 178:2010

Tabel. 3.5. Dimensi spesimen ISO 178:2010

Bagian	Ukuran Standar (mm)
LO ( <i>length overall</i> )	80 (+2)
WO ( <i>width overall</i> )	10,0 ( $\pm 0,2$ )
T ( <i>thickness</i> )	4,0 ( $\pm 0,2$ )

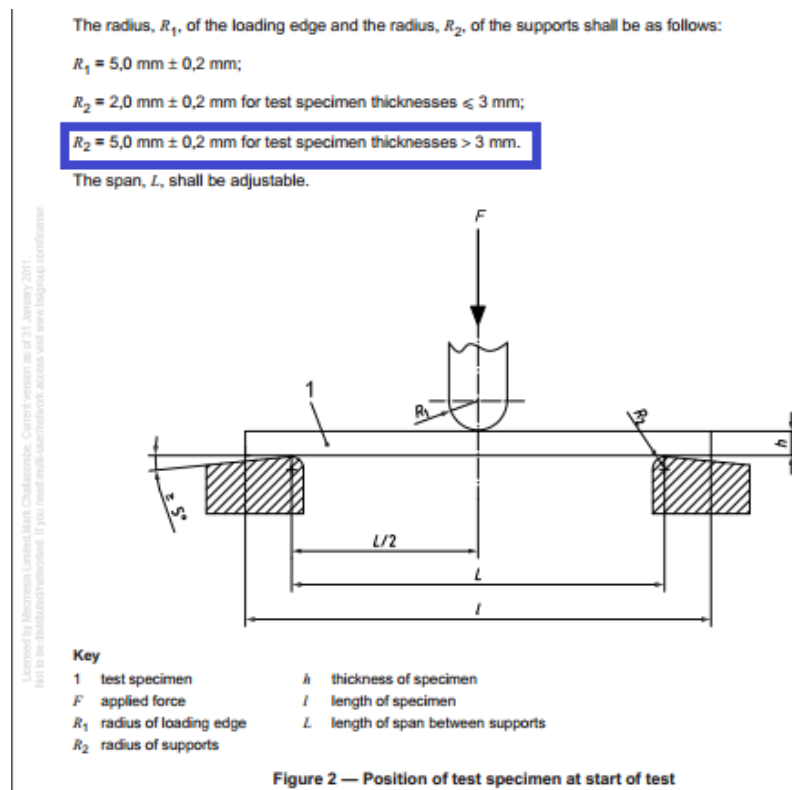
### 3.12 Pengujian Bending



Gambar 3.22. Proses Pengujian Bending

Prosedur proses pengujian bending atau lentur sebagai berikut :

1. Mengukur titik tumpuan yang akan diberikan sesuai nilai yang terdapat pada standar yang digunakan di tunjukkan pada gambar 3.22.



Gambar 3.23. Titik Tumpuan Uji Bending

2. Menghidupkan alat uji bending J.T.M Technology Test dengan menekan tombol *switch power* dan komputer sebagai alat pendukung otomatis alat uji.
3. Memasang benda uji sesuai dengan ukuran tumpuan yang telah ditentukan



4. Menurunkan tool penekan pada alat uji secara manual sampai menempel pada permukaan benda uji dan posisi center pada benda uji.
5. Menghidupkan program *U.T.M Test Program*.
6. Mengisi data untuk proses pengujian secara otomatis yaitu nilai kuat penekanan untuk mengetahui nilai kelenturan serta menyesuaikan dengan jarak tumpuan yang digunakan.
7. Memulai proses pengujian dengan menekan tombol START pada program.
8. Mencetak hasil visual pengujian dengan perangkat printer yang tersedia.
9. Melepaskan benda uji dari mesin uji bending dan mengukur serta mengamati perpatahan yang terjadi.