

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Prosedur Penelitian**

Prosedur penelitian digunakan untuk menyederhanakan permasalahan yang diteliti, sehingga dapat membahas dan menjelaskan permasalahan secara tepat. Penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini yaitu untuk mengetahui parameter yang berpengaruh pada produk 3D *printing* dengan bahan PLA. Langkah awal adalah membuat gambar tiga dimensi (CAD) menggunakan *software* Inventor Profesional dengan format *.OBJ file*. Selanjutnya mengolah data pengaturan parameter dengan metode DOE pada *software* Minitab, kemudian memasukan pengaturan parameter pada *software* Slic3r. Kemudian melakukan proses *slicing* dengan *software* Repitier-Host selanjutnya melakukan proses cetak spesimen. Spesimen yang telah jadi selanjutnya dilakukan pengukuran akurasi dimensi dan pengambilan data pengujian kekuatan tarik. Dari data-data yang didapat diolah dan dilakukan analisis perbandingan.

#### **3.2. Tempat Penelitian**

Penelitian dilakukan di Karangnongko Maguwoharjo Sleman Yogyakarta

#### **3.3. Tempat Pengujian Tarik**

Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Politeknik ATMI Surakarta menggunakan *universal testing machine* (UTM).

#### **3.4. Alat Penelitian**

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. 3D *Printer* gatefromC02.

Penelitian ini menggunakan Spesifikasi 3D *Printer* gatefromC02 ditunjukkan pada gambar 3.1. Spesifikasi 3D *Printer* gatefromC02 yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan pada tabel 3.1.

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

<i>Frame</i>	<i>Aluminium + Threaded rod</i>
<i>Print size (X Y Z)</i>	190 x 190 x 200 mm
<i>Layer thickness</i>	0.1 mm-0.4 mm
<i>Print speed</i>	10 – 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 0.3 mm-0.5 mm</i> )
<i>Print bed size</i>	190 x 190 mm.
<i>Print bed (build platform)</i>	<i>Heated aluminium platform</i>
<i>Max heated bed temperature</i>	$\pm 110$ °C ( <i>adjustable</i> ).
<i>Max extruder temperature</i>	$\pm 240$ °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>	100 W
<i>Machine size</i>	375 mm x 455 mm x 490 mm
<i>Machine weight</i>	10 kg



Gambar 3.1. 3D Printer gatefromC02

## 2. Kunci L.

Kunci L digunakan untuk melepas dan mengencangkan baut saat penggantian bahan filamen, ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Kunci L

## 3. Masking Tape

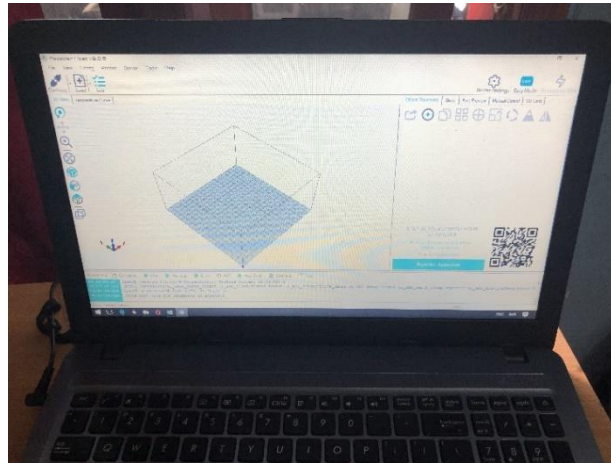
*Masking Tape* digunakan untuk menutupi papan atau *bed* yang berfungsi sebagai dasar pencetakan. *Masking tape* ditunjukkan pada gambar 3.3.



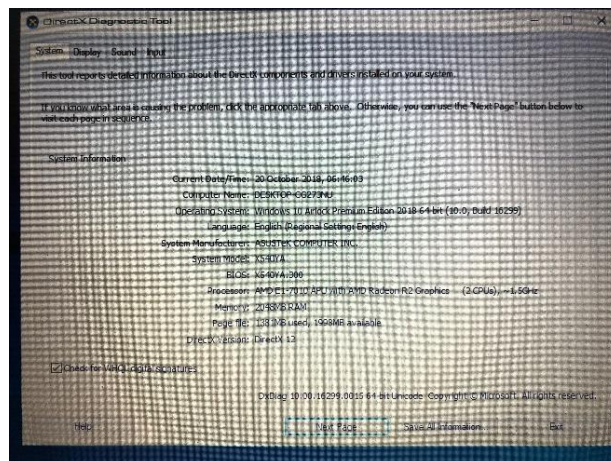
Gambar 3.3. *Masking Tape*

## 4. Komputer

Komputer digunakan untuk menjalankan program yang digunakan untuk pencetakan. Pada penelitian ini komputer yang digunakan adalah Asus X540YA ditunjukkan pada gambar 3.4. dan spesifikasi ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.4. Asus X540YA



Gambar 3.5. Spesifikasi Asus X540YA

## 5. *Praying Tools.*

*Praying Tools* digunakan untuk melepas atau mengangkat spesimen dari papan *bed* saat proses pencetakan selesai dan ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. *Praying Tools*

#### 6. *Software* Inventor Profesional.

Inventor Profesional 2017 digunakan untuk membuat gambar CAD dengan format *.OBJ file*. Inventor Profesional ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. *Inventor Profesional 2017 Student Version*

#### 7. *Software* Slic3r.

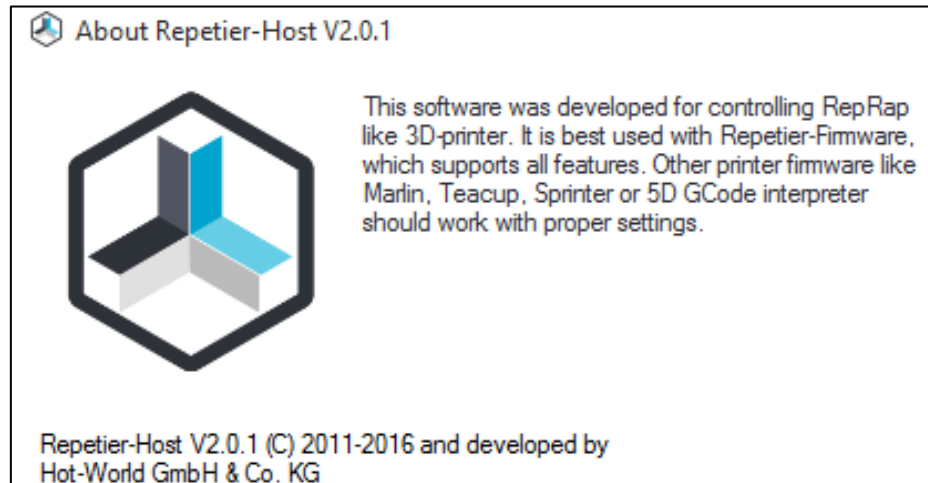
Slic3r digunakan untuk memasukan parameter dan merubah gambar CAD menjadi bahasa program G-Code. Pengaturan pada parameter dapat disimpan dalam bentuk format *INI. file* Slic3r ditunjukkan pada gambar 3.8.



Gambar 3.8. *Slic3r Pursa Edition*

#### 8. *Software* Repetier-Host.

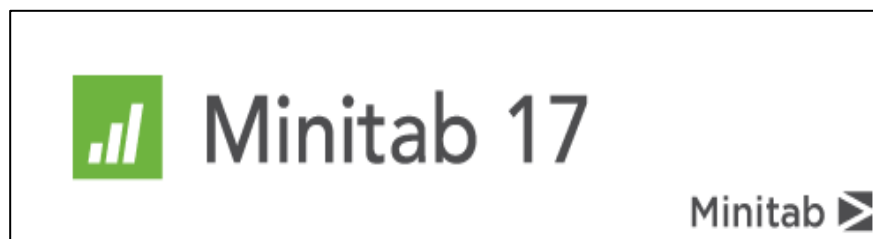
Repetier-Host digunakan untuk proses pencetakan. Setelah *slicing* dilakukan Repitier-Host akan memasukan perintah ke dalam mesin 3D *printing* untuk melakukan proses pencetakan. *Software* ini juga berfungsi untuk *monitoring* selama proses berlangsung dan *software* ini dilengkapi dengan *emergency stop* sebagai tombol pengaman. Repetier-Host ditunjukkan pada gambar 3.9.



Gambar 3.9. Repetier-Host V2.0.1

#### 9. *Software* Minitab.

Minitab adalah program statistik untuk memasukan data variasi parameter. Digunakan untuk menghitung regresi secara lebih mudah dengan memilih tipe metode yang akan dilakukan untuk penelitian. Di dalam penelitian digunakan untuk menentukan variasi parameter dan faktor yang berpengaruh terhadap variabel dependen pada metode DOE. Minitab ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10. Minitab 2017

#### 10. *Vernier Caliper*

Jangka Sorong berfungsi untuk mengukur suatu benda dari sisi luar dengan cara diapit. Pada penelitian ini jangka sorong digunakan untuk mengukur akurasi dimensi spesimen hasil produk 3D *printing*. Spesifikasi jangka sorong yang digunakan adalah jangka sorong dengan ketelitian 0.05 mm. *Vernier Caliper* ditunjukkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. *Vernier Caliper*

#### 11. *Universal Testing Machine (UTM)*

UTM digunakan sebagai alat pengujian tarik. UTM akan memberikan informasi mengenai seberapa besar pengukuran yang akan diuji terhadap suatu bahan. Dalam penelitian ini data yang diperoleh dari pengujian menggunakan UTM dilakukan analisis untuk mengetahui parameter yang dimasukkan. UTM ditunjukkan pada gambar 3.12 dan spesifikasi dari UTM ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Spesifikasi alat uji kuat tarik *Zwick Roell Z020*

<i>Type</i>	<i>Z020</i>
<i>Manufacturer</i>	<i>Zwick (Germany)</i>
<i>Functions</i>	<i>Computer controlled universal materials testing machine, tensile, flexural, compression, tear, interlaminar tests.</i>
<i>Speed range</i>	<i>0.001 – 750 mm/min</i>
<i>Load capacity</i>	<i>-20 - +20 kN</i>

<i>Equipment</i>	<i>Tensile head (10 kN)</i>
	<i>3 point bending head</i>
	<i>4 point bending head</i>
	<i>Tensile head (100 kN)</i>
	<i>Zwick TestXpert 11.0 program</i>



Gambar 3.12. *Universal Testing Machine (UTM)*

### 3.5. **Bahan Penelitian**

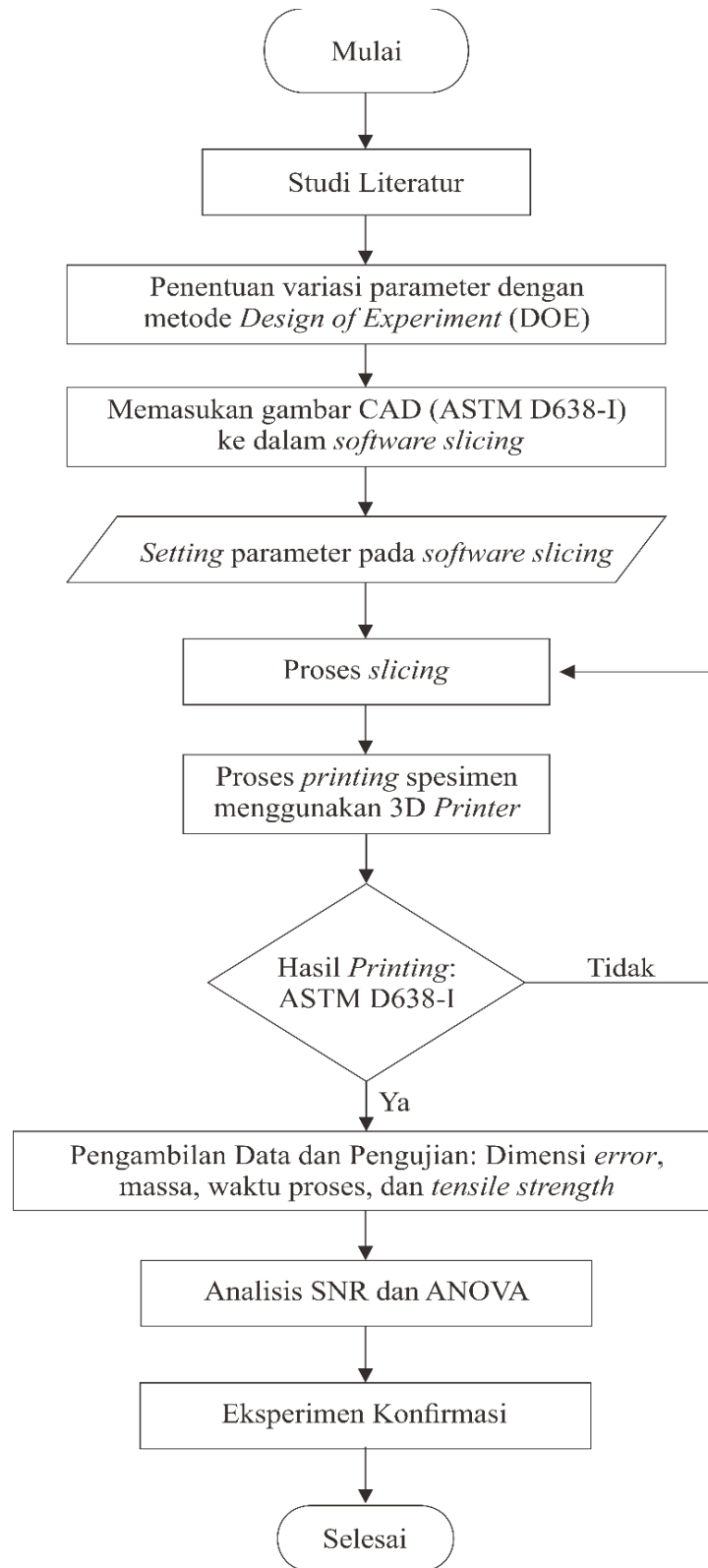
Bahan untuk penelitian ini adalah material plastik berbentuk filamen dengan diameter 1.75 mm. Dalam penelitian ini filamen yang digunakan adalah berbahan *nylon* berwarna putih. *nylon* ditunjukkan pada gambar 3.13.



Gambar 3.13. Filamen *nylon 6*

### 3.6. **Diagram Alir Penelitian**





Gambar 3.14. Diagram alir penelitian

### 3.7. Design of Experiment (DOE)

Mengoptimalkan produk 3D *printing* dilakukan menggunakan metode *design of experiment* (DOE) dengan menentukan desain faktorial dan data variasi parameter yang dimasukkan pada proses *slicing* untuk menentukan jumlah eksperimen minimal dan untuk mendapatkan informasi sebanyak mungkin dari semua faktor yang berpengaruh terhadap parameter. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah *nozzle temperature* (°C), *infill density* (%), dan *layer thickness* (mm).

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

Untuk menentukan variasi parameter proses yang digunakan yaitu dengan menggunakan metode DOE didapatkan tiga variasi dan tiga level perubahan. Berikut ini adalah parameter yang digunakan yaitu *nozzle temperature* (°C), *infill density* (%), dan *layer thickness* (mm). Besarnya nilai pada setiap level parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari *data sheet* material tipe *nylon*, dari perhitungan secara teoritis, dan dari studi literatur penelitian sebelumnya.

#### 1. *Nozzle temperature*

Pemilihan parameter proses yang tepat didapatkan dari *filament data sheet* eSUN untuk bahan *nylon* yang ditunjukkan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3. *Data Sheet of eSUN 3D Filament* (esunchina.net)

<i>Item</i>	<i>Unit</i>	<i>nylon</i>
<i>Density</i>	kg/m <sup>3</sup>	1.15
<i>Melt Point</i>	°C	220-260
<i>Melt Flow Index</i>	g /10 min	3
<i>Tensile yield strength</i>	MPa	50-55
<i>Elongation at break</i>	%	40-50
<i>Flexural strength</i>	MPa	85-90
<i>Flexural modulus</i>	MPa	2000-2400
<i>Impact strength</i>	Kj/m <sup>2</sup>	354
<i>Heatbed temperature</i>	°C	70
<i>Accuracy</i>	1.75 mm (+1)	

Dari *filament data sheet* tersebut didapat bahwa temperatur kerja pada filamen *nylon* yaitu 220-260°C. Pada pra eksperimen yang telah dilakukan didapat *nozzle temperature* dengan kualitas produk terbaik

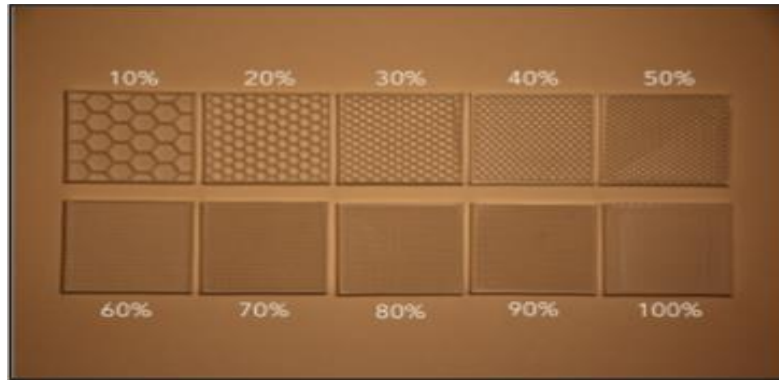
pada 240 °C. Sehingga temperatur tersebut dijadikan sebagai level satu, selanjutnya ditentukan range level sebesar 5 °C. Jadi penelitian ini menggunakan nilai parameter proses *nozzle temperature* sebesar 240°C (level satu), 245 °C (level dua), dan 250 °C (level tiga).

## 2. *Layer thickness*

Parameter *layer thickness* dalam penelitian ini adalah ukuran ketebalan lapisan dari setiap penambahan bahan secara berurutan. Pada parameter *layer thickness* dilakukan tiga level variasi nilai ukuran meliputi 0,1mm, 0,2mm, dan 0,25mm. pada penelitian ini level satu untuk *layer thickness* ditentukan sebesar 0,1mm selanjutnya level dua ditentukan sebesar 0,2mm sedangkan level tiga ditentukan dengan nilai 0,25mm. penelitian variasi ini berdasarkan kelipatan nilai terhadap ketebalan (T) produk yang akan dicetak yaitu sebesar 4mm. hasilnya memberikan variasi *layer* mempengaruhi waktu proses dan kualitas produk pencetakan.

## 3. *Fill density*

Parameter *infill* dalam penelitian ini adalah kerapatan pola *infill* (*fill density*). Pada parameter *fill density* dilakukan variasi tiga level meliputi 50%, 60%, dan 70%. Pada penelitian ini level satu untuk *infill density* ditentukan sebesar 50%. Selanjutnya untuk level dua ditentukan sebagai level tengah sehingga dipilih 60%. Sedangkan level tiga ditentukan dengan menaikkan menjadi 70%. Densitas penuh (100%) tidak digunakan karena parameter proses lain yang digunakan yaitu *fill pattern*, dimana *fill density* harus kurang dari 100% agar *fill pattern* dapat digunakan. Perbandingan kerapatan dari variasi nilai *fill density* ditunjukkan pada gambar 3.15.



Gambar 3.15. Perbandingan nilai *fill density* 50 %, 60% dan 70%

Berdasarkan dari penelitian sebelumnya, perhitungan yang telah dilakukan, pra-eksperimen dan melihat *data sheet* material yang digunakan, maka nilai level parameter proses yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut pada tabel 3.4.

Tabel 3.4. Parameter proses dan level

Faktor	Parameter Proses	Level		
		1	2	3
A	<i>Nozzle temperature</i> (°C)	240	245	250
B	<i>Infill density</i> (%)	50	60	70
C	<i>Layer thickness</i> (mm)	0,1	0,2	0,25

### 3.7.2. Parameter Proses *Default*

Pada penelitian ini tidak semua parameter proses dapat dilakukan kontrol yang bertujuan untuk memudahkan dalam proses analisis. Selain parameter proses yang meliputi *nozzle temperature* (°C), *infill density* (%), dan *layer thickness* (mm), besarnya nilai parameter lain ditentukan oleh pengaturan *default* yang sudah tersedia dari program Slic3r, berdasarkan hasil pra-eksperimen dan merujuk pada hasil penelitian sebelumnya. Seperti pada parameter proses *printing angle* atau orientasi cetak yang digunakan adalah 0°. Orientasi tersebut diketahui memiliki hasil produk dengan kekuatan paling tinggi (Tantowi dkk, 2017). Parameter proses yang diatur secara *default* ditunjukkan pada tabel 3.5, sedangkan tabel parameter proses *default* untuk kecepatan ditunjukkan pada tabel 3.6.

Tabel 3.5. Parameter proses *default*

Parameter Proses	Unit	Values
<i>Perimeters</i>	-	3
<i>Solid Layer (top and bottom)</i>	-	3
<i>Top/bottom fill pattern</i>	-	<i>Rectilinear</i>
<i>Raster angle</i>	-	45°
<i>Print angle</i>	-	0°
<i>Feed rate</i>	mm/s	100
<i>Flow rate</i>	%	125

Tabel 3.6. Parameter proses untuk kecepatan

Kecepatan	Values
<i>Perimeters</i>	50 mm/s
<i>Small Perimeters</i>	15 mm/s
<i>External Perimeters</i>	50 %
<i>Infill</i>	40 mm/s
<i>Solid Infill</i>	20 mm/s
<i>Top Solid Infill</i>	15 mm/s
<i>Bridges</i>	40 mm/s

### 3.7.3. Variabel Respon

Variabel Respon atau karakteristik kualitas adalah objek yang menarik dari suatu produk atau proses (Soejanto, 2009). Pada penelitian ini ditentukan beberapa variabel respon meliputi *tensile strength*, dimensi produk, massa produk, dan waktu pencetakan. Pada hasil *tensile strength*, dan dimensi produk dianalisis menggunakan metode Taguchi ANOVA untuk melihat pengaruh pada setiap parameter proses yang dimasukkan pada produk 3D *printing* bahan *nylon 6*.

### 3.7.4. Desain Faktorial

Desain faktorial pada penelitian ini dibuat menggunakan *software* Minitab 17. Metode Taguchi pada penelitian ini digunakan *orthogonal L9* ( $3^3$ ) yang berarti sembilan percobaan dimana ada tiga parameter proses atau faktor dengan tiga perubahan variabel dalam setiap faktor parameter.

Selanjutnya setiap faktor dilakukan replikasi sebanyak tiga kali. Pemilihan tipe matrik *orthogonal* disesuaikan berdasarkan jumlah percobaan, *factor*, dan *level* yang akan diamati. Selanjutnya replikasi dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap percobaannya mendapatkan ketelitian yang tinggi.

Penelitian ini juga tidak terlepas dari faktor (*noise*) dalam penetapan faktorial seperti *printing* 3D tidak dilengkapi sistem *cooling*, penyimpangan pada *thermocouple* pada *print head* dan *bed*, *nozzle* tersumbat, kualitas filamen dan *bed* yang tidak rata. Faktor *noise* diabaikan pada penelitian ini karena metode DOE menggunakan pengolahan data variasi parameter proses terdiri dari beberapa faktor dan level yang telah ditentukan. Faktor *noise* pada mesin diabaikan atau indikator yang divariasikan dalam parameter proses untuk meningkatkan kualitas selama proses pencetakan. Tabel desain faktorial dalam penelitian ini adalah sebagai berikut pada tabel 3.7 dan Tabel 3.8

Tabel 3.7. Desain matrik ortogonal  $L_9 (3^3)$

<i>Experiment</i>	Level		
	<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	<i>Infill density</i> (%)	<i>Layer thickness</i> (mm)
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

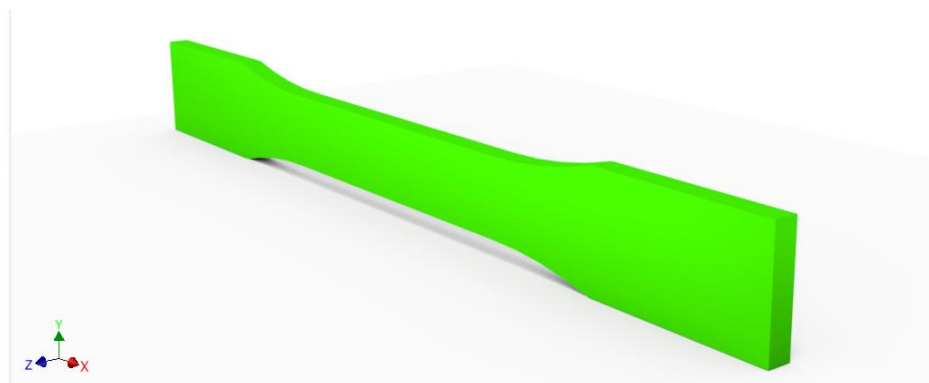
Tabel 3.8 desain factorial penelitian

<i>Experiment</i>	Level		
	<i>Nozzle Temperature</i> (°C)	<i>Infill density</i> (%)	<i>Layer thickness</i> (mm)
1	240	50	0,1
2	240	60	0,2

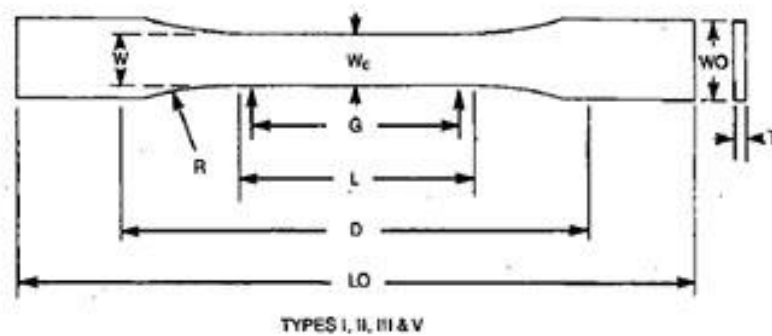
3	240	70	0,25
4	245	50	0,2
5	245	60	0,25
6	245	70	0,1
7	250	50	0,25
8	250	60	0,1
9	250	70	0,2

### 3.8. Pembuatan Gambar CAD

Desain spesimen digambar menggunakan *software* CAD yaitu Autodesk Inventor Profesional 2017. Desain yang dibuat menggunakan format .OBJ, hal ini dikarenakan format .OBJ dapat dibaca oleh *software* slicing Slic3r dan Repitier-Host. Standarisasi spesimen uji tarik untuk bahan plastik yang digunakan adalah ASTM D-638 tipe I dengan tebal 4 mm. Dimensi dari spesimen uji ASTM D-638 tipe I ditunjukkan pada tabel 3.9.



Gambar 3.16. Desain CAD spesimen



Gambar 3.17. ASTM-D638 tipe I (ASTM Internasional, 2002)

Tabel 3.9. Dimensi ASTM-D638 (ASTM Internasional, 2002)

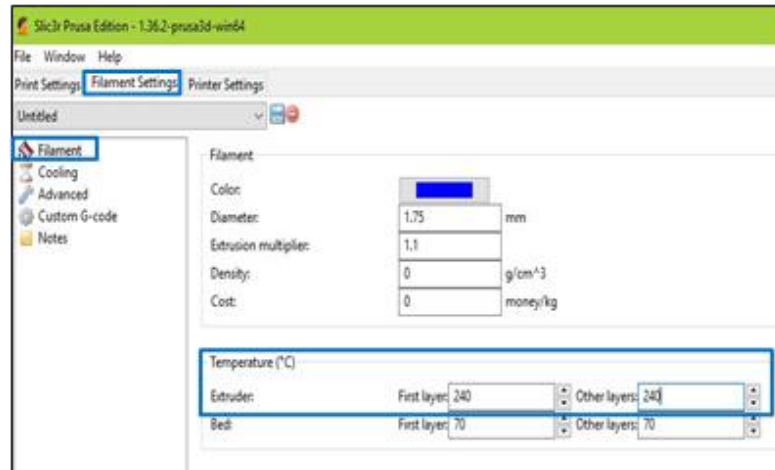
Dimensions	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV <sup>B</sup>	Type V <sup>G,D</sup>	
IV—Width of narrow section <sup>E,F</sup>	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02) <sup>B,C</sup>
L.—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02) <sup>C</sup>
WO—Width overall, min <sup>G</sup>	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	-	+ 6.4 (+ 0.25)
WO—Width overall, min <sup>G</sup>	-	-	-	-	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO—Length overall, min <sup>H</sup>	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G—Gage length'	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	-	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010) <sup>C</sup>
G—Gage length'	-	-	-	25 (1.00)	-	±0.13 (±0.005)
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) "	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14(0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04) <sup>C</sup>
RO—Outer radius (Type IV)	-	-	-	25 (1.00)	-	±1 (±0.04)

### 3.9. Slicing

Pada penelitian ini file .OBJ perlu diproses oleh *software* yang disebut *slicer*, digunakan untuk mengubah model menjadi serangkaian lapisan tipis dan menghasilkan G-code *file* berisi perintah yang disesuaikan dengan jenis 3D *printing* yang digunakan. Selain itu proses *slicing* akan menghasilkan informasi penting seperti waktu pencetakan, filamen yang dibutuhkan, total jumlah *line* dan jumlah *layer*. Penelitian ini menggunakan *software* Slic3r Pursa Edition untuk membuat G-code yang disematkan pada *software* 3D *printing tools* yaitu Repetier-Host dimana akan dihubungkan langsung dengan perangkat 3D *printing*. Prosedur *slicing* pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

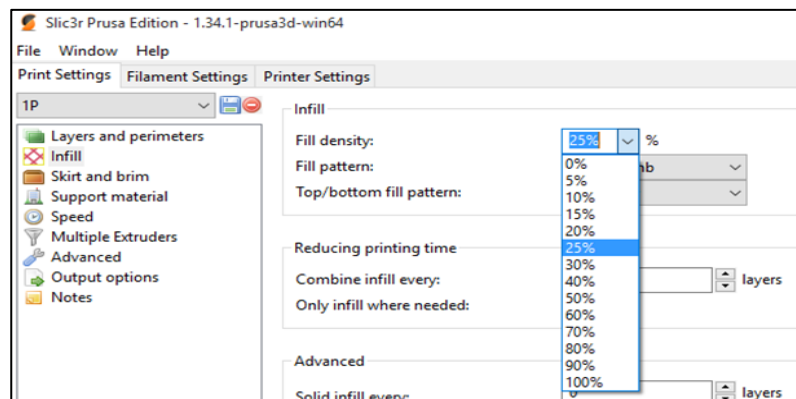
1. Memasukan file desain objek berformat .OBJ ke dalam Repetier-Host.
2. Mengatur konfigurasi parameter pada Slic3r Pursa Edition. Konfigurasi parameter kontrol yang meliputi *nozzle temperature*, *infill density*, *layer thickness* diatur sesuai DOE seperti yang ditunjukkan pada table 3.8. dengan cara sebagai berikut.
  - a. Pengaturan *nozzle temperature* dilakukan pada menu *filament* yang terdapat pada tab *filament settings* dengan cara memasukan nilai *temperature* pada kolom *temperature extruder* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.18.





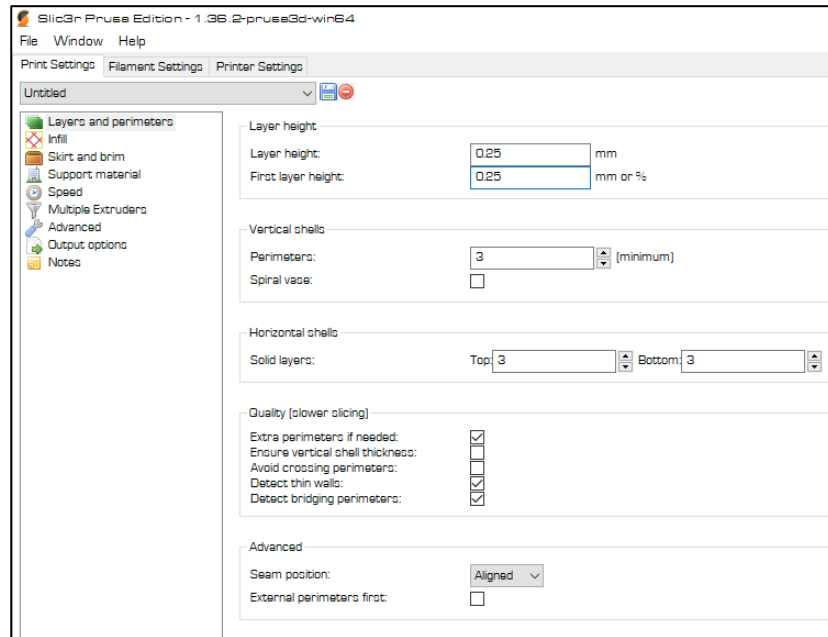
Gambar 3.18. Pengaturan *nozzle temperature*

- b. Pada pengaturan *fill density* dilakukan pada menu *infill* pada *tab print settings* dengan cara memasukkan nilai untuk *fill density* pada kolom *fill* seperti ditunjukkan pada gambar 3.19.



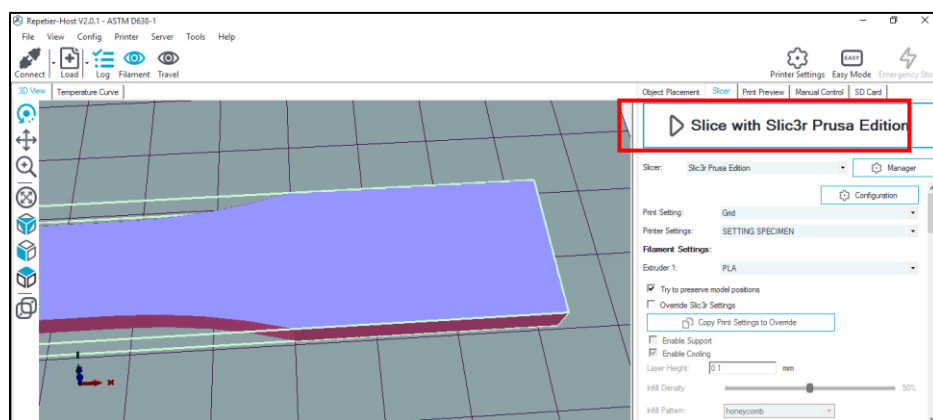
Gambar 3.19. Pengaturan *fill density*

- c. Pada pengaturan *layer thickness* dilakukan pada menu *layers and perimeters* pada *tab print settings* dengan cara memasukkan nilai *layer height* atau *first layer height* seperti di tunjukan pada gambar 3.20.

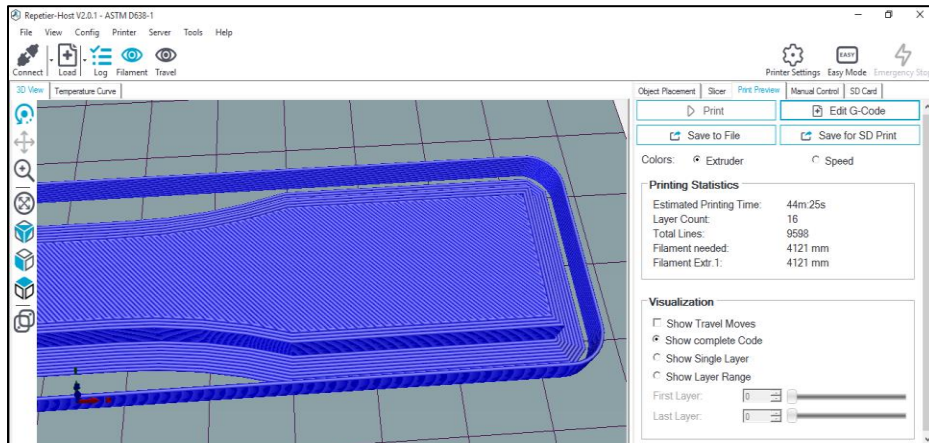


Gambar 3.20. Pengaturan *layer thickness*

3. Pengaturan parameter proses lain seperti *extrusion width*, *feed rate*, *infill pattern*, *heatbed*, *perimeters*, *raster angle* dan *flow rate* diatur sesuai pengaturan default yang ada di Slic3r Prusa Edition dan merujuk pada hasil penelitian sebelumnya.
4. Proses *slicing* dilakukan dengan menekan *Slice with Slic3r Prusa Edition* pada *software* Repetier-Host kemudian tunggu sampai proses selesai. Gambar produk sebelum dilakukan proses *slicing* ditunjukkan pada gambar 3.21 dan gambar produk hasil *slicing* ditunjukkan pada gambar 3.22.



Gambar 3.21. Proses *slicing*



Gambar 3.22. Hasil *slicing*

### 3.10. Proses *Printing*



Gambar 3.23. Proses *printing* spesimen

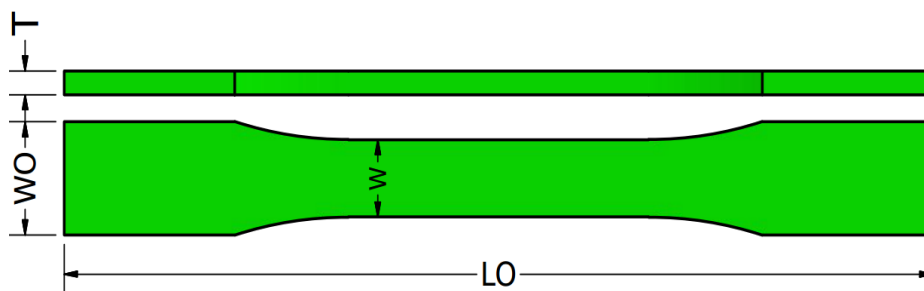
Prosedur pengoperasian dan pencetakan spesimen dengan mesin 3D *printing* adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan filamen *nylon* yang akan digunakan dalam penelitian. Dan memasang filamen pada mesin 3D *printing*.
2. Memasang kabel *power* dan menekan tombol *ON* pada saklar 3D *printing*.
3. Menghubungkan 3D *printing* dan laptop dengan kabel *USB*, selanjutnya menjalankan *software* Repetier-Host dan melakukan proses *slicing* pada gambar desain *CAD*.
4. Menekan tombol *connect* pada *toolbar* yang terdapat pada *user interface* Repetier-Host.

5. Kemudian menekan tombol *print*.
6. Selanjutnya proses pencetakan dapat dimonitor dengan melihat tampilan pada *user interface* Repetier-Host. Terdapat *tab temperature curve* menampilkan grafik temperatur yang digunakan selama proses pencetakan berlangsung secara *real times*.
7. Setelah proses pencetakan selesai, selanjutnya memberikan jeda sekitar tiga sampai lima menit untuk menurunkan temperatur pada bagian *layer* yang paling akhir dicetak. Hal ini bertujuan agar pada saat proses pengangkatan produk tidak mengalami kerusakan atau terdeformasi karena produk masih terlalu lunak untuk dilakukan proses pelepasan dengan *bed*.
8. Melakukan proses pengangkatan spesimen menggunakan *praying tools*.
9. Proses terakhir melakukan *finishing* pada spesimen untuk menghilangkan bagian *brim* yang menempel pada *layer* bawah.

### 3.11. Pengukuran Dimensi Spesimen

Spesimen 3D *printing* dilakukan pengukuran untuk mengetahui tingkat akurasi produk. Dimensi spesimen mengacu pada standar ASTM D-638 tipe 1. Pengukuran dilakukan menggunakan *vernier caliper* atau jangka sorong. Dimensi yang diukur adalah *length overall* (LO), *width overall* (WO), *width of narrow* (W), dan *thickness* (T). Data ukuran acuan sesuai ASTM D-638 tipe I ditunjukkan pada gambar 3.24 dan tabel 3.10.



Gambar 3.24. Bagian spesimen yang diukur

Tabel 3.10. Dimensi spesimen ASTM D-638 tipe 1

Bagian	Ukuran Standar (mm)
LO ( <i>length overall</i> )	165 ( <i>no max</i> )

WO ( <i>width overall</i> )	19 (+ 6.4)
W ( <i>width of narrow</i> )	13 ( $\pm 0.5$ )
T ( <i>thickness</i> )	4 ( $\pm 0.4$ )

### 3.12. Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan salah satu variabel respon pada penelitian ini yang dimaksudkan untuk mengetahui kekuatan tarik produk 3D *printing*. Berikut langkah-langkah proses pengujian kuat tarik meliputi:

1. Mengukur panjang spesimen.
2. Menghidupkan mesin universal testing machine UTM zwick roell dan computer untuk operasional mesin.
3. Memasang benda uji dalam cekam mesin uji, sesuai dengan tanda yang telah ditentukan dengan menekan *UP* atau *DOWN* untuk menaik dan menurunkan cekam.
4. Menghidupkan *Zwick Test Expert 11.0 program*.
5. Mengisi data material pada *Method Window* :
  - a. *Sample*, untuk data material meliputi: *Shape, Gauge, Grip, Length*.
  - b. *Prepare Test*, untuk menentukan mode pengujian.
6. Membuat *display* pengujian dengan membuka *Report Screen*, meliputi: *test no, test date* dan nama material.
7. Melakukan pengujian dengan menekan tombol *TEST* pada *tool box*.
8. Mencetak hasil pengujian dengan menekan *PRINT*.
9. Melepaskan material dari cekam pada mesin uji dan mengukur panjang material pada daerah yang telah ditandai.

Setelah dilakukan pengujian tarik didapat nilai beban maksimal atau  $F_{max}$  untuk setiap spesimen uji. Nilai  $F_{max}$  yang telah didapat digunakan sebagai data perhitungan untuk mengetahui nilai tegangan tarik (*tensile strength*). Selanjutnya dilakukan pengambilan data pada setiap spesimen meliputi massa produk, dimensi produk, dan hasil perhitungan nilai tegangan tariknya. Data yang telah didapat kemudian diolah dan dilakukan analisis menggunakan SNR dan ANOVA. Metode perhitungan SNR untuk respon dimensi produk dilakukan menggunakan metode SNR *Nominal The Best* (NTB), sedangkan metode perhitungan SNR untuk respon

*Tensile Strength* atau tegangan tarik dilakukan menggunakan metode SNR *Larger The Better* (LTB) atau semakin besar semakin baik. Analisis varians atau ANOVA digunakan untuk mengetahui persen kontribusi setiap parameter proses dengan melakukan pengklasifikasian hasil-hasil percobaan secara statistik sesuai sumber-sumber varians.