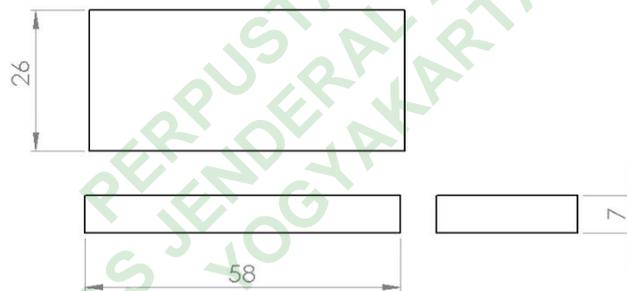


BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Proses Manufaktur Universitas Jenderal Achmad Yani Yogyakarta. Desain spesimen dibuat menggunakan *software* SolidWorks yang berbentuk balok dengan dimensi spesimen 58 x 26 x 7 mm (Gambar 3.1). Pemilihan bentuk spesimen berdasar pada ASTM D2240, dan pemilihan bentuk balok dikarenakan bentuknya memiliki permukaan yang datar dan sudut yang tajam. Hal ini memudahkan dalam pengukuran dimensi dan pengujian kekerasan permukaan, karena tidak ada area yang sulit diakses atau sulit diukur.



Gambar 3.1 Dimensi Desain Spesimen

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Laptop

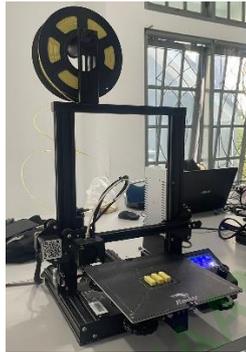
Pada penelitian ini menggunakan laptop dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Processor : *Intel Core i5 4210U*
- Sistem Operasi : *Windows 8.1*
- Ram : 4GB

2. Mesin 3D *Printer* FDM (*Fused Deposition Modelling*)

Pada penelitian ini menggunakan mesin 3D *Printer* FDM yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Kerangka : Alumunium
- Konektivitas : *MicroSD*
- Tampilan Mesin : Layar LCD
- Magnetik *Print bed*



Gambar 3.2 Mesin 3D Printer FDM

3. Jangka Sorong

Pada penelitian ini menggunakan alat ukur jangka sorong yang memiliki ketelitian 0,02 mm dan berbahan *stainless steel*.



Gambar 3.3 Jangka Sorong

4. *Software* CAD

Design spesimen 3 dimensi dibuat menggunakan *software* CAD digunakan sebagai inputan *software slicer*.

5. *Software* Pengolah Data

- *Microsoft Word* 2013
- *Microsoft Excel* 2013
- Minitab 17

6. *Software Slicer*

Konversi *file* dari CAD ke Mesin 3D *Printer* menggunakan *software Ultimaker Cura*, dengan cara melakukan *slicing* gambar CAD menjadi *g.code* dan digunakan untuk mengontrol mesin 3D *Printer* FDM.

7. *Shore D Hardness Tester* (Durometer)

Alat ini memiliki ketahanan terhadap tekanan objek indetor, memakai sistem petunjuk analog dengan diameter 1,4 mm, titik kerucut 30°, radius ujung 0,1 mm dan maksimal pengujian dengan massa 4,55 kg.



Gambar 3.4 Shore D Hardness Tester (Durometer)

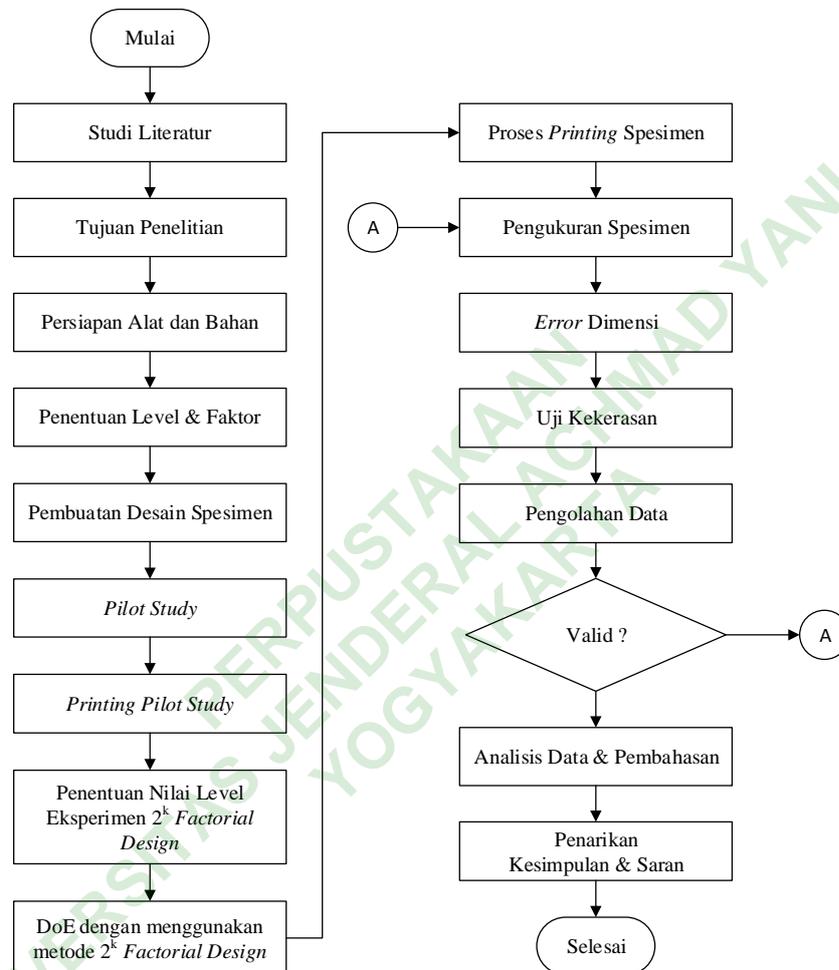
8. Material PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*)

Pada penelitian ini menggunakan *filament* PETG yang berwarna kuning yang memiliki spesifikasi standar antara lain:

- Diameter : 1,75 mm
- *Roundness Tolerance* : 0,01 – 0,02 mm
- *Print Temperature* : 240 – 260 °C
- *Print Bed Temperature* : 60 – 80 °C

3.3 Tahapan Penelitian

Tahap penelitian bertujuan agar penelitian dapat diselesaikan secara sistematis. (Gambar 3.5)



Gambar 3.5 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan yang dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Langkah pertama dalam melakukan penelitian adalah studi literatur yang bisa menambah ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan permasalahan dalam penelitian. Studi literatur menggunakan sumber berupa jurnal-jurnal penelitian sebelumnya, buku dan internet.

2. Tujuan Penelitian

Pada tahap ini tujuan penelitian ditentukan yang berdasar pada rumusan

masalah yang sudah ditetapkan sebelumnya.

3. Persiapan Alat & Bahan

Adapun alat yang digunakan untuk mencetak spesimen dalam penelitian ini yaitu:

a. Laptop

Laptop digunakan untuk menjalankan *software – software* yang digunakan pada penelitian ini.

b. Mesin 3D *Printer* FDM

Digunakan untuk mencetak spesimen.

c. Jangka Sorong

Digunakan untuk mengukur hasil cetak spesimen dengan ketelitian 0,02 mm.

d. *Software* CAD SolidWorks

Design spesimen 3 dimensi dibuat menggunakan *software* CAD digunakan sebagai inputan *software slicer*.

e. *Software* Pengolah Data

▪ *Microsoft Word* 2013

Digunakan untuk menulis dan mengedit laporan penelitian ini.

▪ *Microsoft Excel* 2013

Microsoft Excel digunakan untuk mengolah data hasil pengukuran spesimen.

▪ Minitab 17

Minitab digunakan untuk melakukan analisis statistik deskriptif pada data hasil cetak.

f. *Software Ultimaker Cura*

Konversi file dari CAD ke Mesin 3D *Printer* menggunakan *software Ultimaker Cura*, dengan cara melakukan *slicing* gambar CAD menjadi *g.code* dan digunakan untuk mengontrol mesin 3D *Printer*.

g. *Shore D Hardness Tester* (Durometer)

Digunakan untuk mengukur kekerasan permukaan hasil cetak.

h. Material PETG

4. Penentuan Level & Faktor

Menentukan nilai level dan faktor spesimen yang digunakan dalam proses pencetakan 3D *printing*, simbol x adalah panjang spesimen, simbol y adalah lebar spesimen, dan simbol z adalah tinggi spesimen. Adapun faktor yang akan digunakan dalam proses 3D *printing* yaitu *temperature printing*, *fill pattern* dan *fill density*. Berikut faktor dan respon yang digunakan dalam proses cetak 3D *printing*.

Tabel 3.1 Faktor Proses Cetak

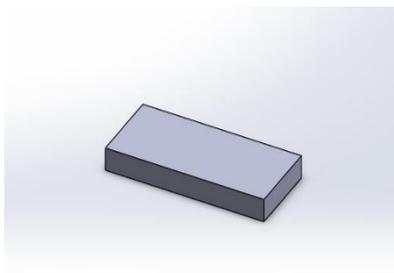
	Variabel	Parameter	Penentuan Nilai Level
Faktor	X ₁	<i>Temperature Printing</i>	Studi Literatur & <i>Pilot Study</i>
	X ₂	<i>Fill Pattern</i>	Studi Literatur & <i>Pilot Study</i>
	X ₃	<i>Fill Density</i>	Studi Literatur & <i>Pilot Study</i>

Tabel 3.2 Respon Hasil Cetak

	Variabel	Keterangan
Respon	R ₁	<i>Error Dimensi X</i>
	R ₂	<i>Error Dimensi Y</i>
	R ₃	<i>Error Dimensi Z</i>
	R ₄	Uji kekerasan

5. Pembuatan Desain Spesimen

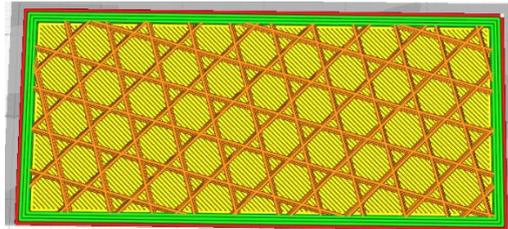
Pembuatan desain spesimen menggunakan *software* SolidWorks dengan dimensi 58 x 26 x 7 mm. Kemudian desain spesimen disimpan dalam bentuk file dengan format STL (.stl.) yang akan dilanjutkan dengan proses *slicing* menggunakan *software Ultimaker Cura* untuk mengubah format menjadi G-Code (.gcode).



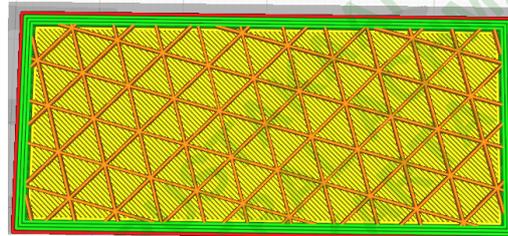
Gambar 3.6 Desain Spesimen

6. *Pilot Study*

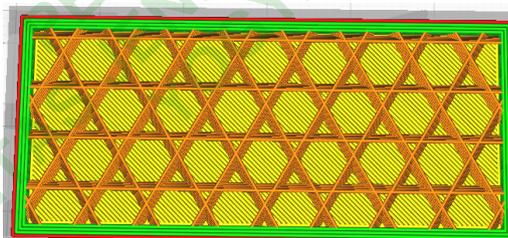
Pada tahap ini bertujuan untuk mencari 2 nilai level kemudian digunakan dalam metode 2^k *Factorial Design* untuk memperoleh hasil *printing* sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun isian pola yang digunakan pada *pilot study* yaitu *cubic*, *triangles*, *cubic subdivision*, *lines*, dan *zig-zag*.



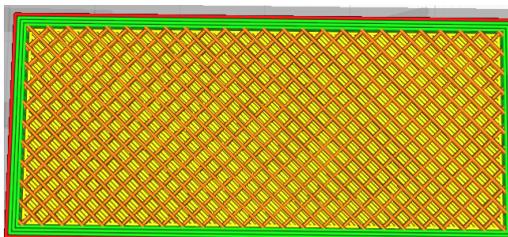
Gambar 3.7 Isian Pola *Cubic*



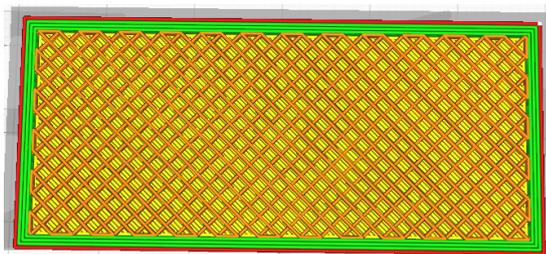
Gambar 3.8 Isian Pola *Triangles*



Gambar 3.9 Isian Pola *Cubic Subdivision*



Gambar 3.10 Isian Pola *Lines*



Gambar 3.11 Isian Pola Zig-zag

Tabel 3.3 Pilot Study

Faktor	Level				
	1	2	3	4	5
Temperature Printing (°C)	220	225	230	235	240
Fill Pattern	Cubic	Triangles	Cubis subdivision	Lines	Zig-zag
Fill Density (%)	20	25	30	35	40

Pemilihan nilai level pada tahap *pilot study* untuk parameter *temperature printing* didasarkan pada nilai suhu yang ditentukan oleh material PETG yaitu 220 – 250 °C. Sedangkan untuk pemilihan *fill pattern* diperoleh dari penelitian Karuniawan *et al.*, (2022) dan untuk pemilihan nilai level *fill density* didasarkan pada nilai optimal yang dihasilkan oleh penelitian Rosid & Tontowi, (2021).

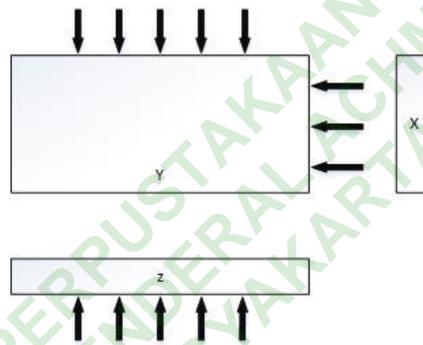
7. Printing Pilot Study

Pada tahap ini dilakukan proses cetak spesimen menggunakan mesin 3D Printer. Langkah pertama yaitu memilih desain spesimen yang akan dicetak yang sudah menggunakan format (stl.). Desain spesimen yang sudah dalam bentuk format (stl.) dimasukkan pada *software Ultimaker Cura* untuk melakukan proses *slicing*. Proses *slicing* dilakukan untuk mengatur nilai faktor. Hasil *slicing* disimpan dalam bentuk file dengan format (.gcode) kemudian simpan file *slicing* pada *MicroSD*.

Langkah selanjutnya yaitu melakukan *set up* mesin 3D Printer dengan cara mencolokkan kabel *power* pada stop kontak. Lalu memasang filamen pada mesin 3D Printer dan menyalakan tombol *power*. Kemudian melakukan proses kalibrasi agar proses cetak memenuhi standar, *MicroSD* dimasukkan pada mesin 3D Printer dan pilih *file* spesimen yang akan

dicetak. Setelah mengklik tombol *print* pada LCD mesin 3D *Printer* maka pemanasan suhu *nozzle* dan *bed* akan berjalan otomatis sesuai nilai faktor yang sudah diatur pada proses *slicing*. Proses cetak juga akan berjalan secara otomatis *layer* demi *layer*. Jika proses cetak spesimen sudah selesai tunggu suhu bed hingga dingin, lalu hasil cetak diangkat dan tombol *power* dimatikan.

Kemudian proses pengambilan data dilakukan dengan mengukur hasil cetak spesimen dalam kurung waktu ± 30 menit setelah proses cetak. Alat ukur yang digunakan yaitu jangka sorong untuk mengukur dimensi spesimen x, y, dan z yang dilakukan di beberapa titik (Gambar 3.12).



Gambar 3.12 Titik Pengukuran

8. Penentuan Nilai Level Eksperimen 2^k Factorial Design

Pada tahap penentuan nilai level dilakukan dengan cara mencari nilai yang mendekati dimensi desain untuk menentukan nilai level 2^k factorial design. Nilai level dihasilkan dari *pilot study* untuk mendapatkan nilai + dan - (Tabel 3.4).

Tabel 3.4 Nilai Faktor dan Level

Faktor	Keterangan	Level		Satuan	Penentuan Nilai
		-	+		
<i>Temperature Printing</i>	Suhu <i>printing</i>	235	240	<i>Celcius</i>	Studi Literatur & <i>Pilot Study</i>
<i>Fill Pattern</i>	Pola Isi	<i>Cubic</i>	<i>Lines</i>		Studi Literatur & <i>Pilot Study</i>
<i>Fill Density</i>	Kerapatan Isi	20	25	%	Studi Literatur & <i>Pilot Study</i>

9. *Design of experiment* dengan menggunakan metode *2k Factorial*

Dari hasil *pilot study* dapat dilakukan pemilihan parameter, nilai level dan tabel eksperimen *2^k factorial design*. *Software* Minitab digunakan untuk membuat tabel desain eksperimen dengan 3 faktor dan 2 level yang sudah ditentukan lalu direplikasi 3 kali (Tabel 3.5). Replikasi 3 kali dilakukan bertujuan untuk membantu peneliti mendapatkan perkiraan yang lebih akurat tentang rata-rata dan variasi dari hasil pengukuran.

Tabel 3.5 *Design of Experiment*

NO	<i>Temperature Printing</i>	<i>Fill Pattern</i>	<i>Fill Density</i>	<i>Temperature Printing (°C)</i>	<i>Fill Pattern</i>	<i>Fill Density (%)</i>
1.	-	-	-	235	<i>Cubic</i>	20
2.	+	-	-	240	<i>Cubic</i>	20
3.	-	+	-	235	<i>Lines</i>	20
4.	+	+	-	240	<i>Lines</i>	20
5.	-	-	+	235	<i>Cubic</i>	25
6.	+	-	+	240	<i>Cubic</i>	25
7.	-	+	+	235	<i>Lines</i>	25
8.	+	+	+	240	<i>Lines</i>	25
9.	-	-	-	235	<i>Cubic</i>	20
10.	+	-	-	240	<i>Cubic</i>	20
11.	-	+	-	235	<i>Lines</i>	20
12.	+	+	-	240	<i>Lines</i>	20
13.	-	-	+	235	<i>Cubic</i>	25
14.	+	-	+	240	<i>Cubic</i>	25
15.	-	+	+	235	<i>Lines</i>	25
16.	+	+	+	240	<i>Lines</i>	25
17.	-	-	-	235	<i>Cubic</i>	20
18.	+	-	-	240	<i>Cubic</i>	20
19.	-	+	-	235	<i>Lines</i>	20
20.	+	+	-	240	<i>Lines</i>	20
21.	-	-	+	235	<i>Cubic</i>	25
22.	+	-	+	240	<i>Cubic</i>	25
23.	-	+	+	235	<i>Lines</i>	25
24.	+	+	+	240	<i>Lines</i>	25

10. Proses *Printing* Spesimen

Pada tahap ini dilakukan seperti pada proses *pilot study* yang membedakan hanya nilai level yang sudah ditentukan.

11. Pengukuran Spesimen

Pengambilan data dilakukan cara mengukur spesimen hasil cetak 3D *Printer*, pengukuran menggunakan alat jangka sorong dengan ketelitian 0,02 mm. Pengukuran dilakukan pada beberapa titik yang bertujuan untuk mengetahui setiap dimensi yang diukur (Gambar 3.13).



Gambar 3.13 Proses Pengukuran Spesimen

12. Pengolahan Data

Tahap pengolahan data berdasar pada hasil uji spesimen yang akan dianalisis menggunakan *software* Minitab. Analisis yang dilakukan pada tahap ini adalah analisis ANOVA, penentuan model regresi, analisis *R-Square*, uji normalitas dan optimasi parameter untuk memperoleh *error* dimensi terkecil dan nilai kekerasan permukaan tertinggi. Tahap selanjutnya adalah *running* pada *software* Minitab sesuai dengan optimasi parameter hasil kemudian untuk membuktikan hasil optimasi dilakukan uji validasi apakah lebih baik dari hasil DoE (*Design of Experiment*) atau tidak. Pengolahan data hasil uji kekerasan pada spesimen dilakukan berdasar pada hasil pengujian. Dicari rata-rata hasil pengujian kekerasan kemudian dibandingkan dengan hasil dari DoE, apakah lebih baik dari hasil DoE atau tidak.

13. Validasi Data

Validasi data menggunakan uji normalitas, jika data lebih besar dari tingkat signifikan (0,05) maka data tersebut dianggap valid. Sebaliknya jika data kurang dari tingkat signifikan maka dilakukan pengukuran ulang pada

spesimen hasil cetak.

14. Analisis Data & Pembahasan

Tahap analisis dan pembahasan didasarkan pada hasil penelitian yang sudah dilakukan, agar bisa melakukan perbaikan pada penelitian untuk memperoleh hasil penelitian yang lebih baik.

15. Kesimpulan & Saran

Tahap terakhir berisi kesimpulan yang didapatkan dari hasil pengumpulan data, pengolahan data dan analisis yang tentunya menjawab tujuan dari penelitian yang sudah ditetapkan.

PERPUSTAKAAN
JENDERAL ACHMAD YANI
UNIVERSITAS YOGYAKARTA