

**PENENTUAN PARAMETER MESIN 3D *PRINTING*
BERDASARKAN SIFAT MEKANIK HASIL
PRINTING BERBAHAN FILAMEN PETG**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat guna mencapai gelar
Sarjana dalam bidang ilmu Teknik Industri

Disusun oleh :

Nama : Steven Wirajaya
NPM : 6131801026



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2022**

***DETERMINATION OF 3D PRINTING MACHINE
PARAMETERS BASED ON PRINTING
RESULT MECHANIAL PROPERTIES
MADE OF PETG FILAMENT***

THESIS

Submitted to fulfil one of the requirements to obtain Industrial Engineering
Bachelor's Degree

Arranged by :

Name : Steven Wirajaya
NPM : 6131801026



**INDUSTRIAL ENGINEERING UNDERGRADUATE
STUDY PROGRAM
INDUSTRIAL ENGINEERING MAJOR
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
BANDUNG
2022**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG**



Nama : Steven Wirajaya
NPM : 6131801026
Program Studi : Sarjana Teknik Industri
Judul Skripsi : PENENTUAN PARAMETER MESIN 3D *PRINTING*
BERDASARKAN SIFAT MEKANIK HASIL *PRINTING*
BERBAHAN FILAMEN PETG

TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

Bandung, 26 Agustus 2022
**Ketua Program Studi Sarjana
Teknik Industri**

(Dr. Ceicalia Tesavrita, S.T., M.T.)

Pembimbing Pertama

ACC 30-08-2022

(Ir. Marihot Nainggolan, S.T., M.T., M.S.)

Pembimbing Kedua

(Loren Pratiwi, S.T., M.T.)

**PERNYATAAN TIDAK MENCONTEK ATAU
MELAKUKAN PLAGIAT**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Steven Wirajaya

NPM : 6131801026

dengan ini menyatakan bahwa Skripsi dengan Judul:
PENENTUAN PARAMETER MESIN 3D *PRINTING* BERDASARKAN SIFAT
MEKANIK HASIL *PRINTING* BERBAHAN FILAMEN PETG

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi yang akan dikenakan kepada saya.

Bandung, 5 Agustus 2022



Steven Wirajaya

NPM : 6131801026

ABSTRAK

Menurut Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), jumlah sampah di Indonesia mencapai 23.313.063,604 ton dimana sampah plastik menyumbang sebesar 15,6%. Rasio dari tingkat penanganan sampah pada tahun 2019 hingga 2021 tidak melebihi 50%. Rasio tersebut masih dapat terbilang jauh dari target yang ditetapkan pemerintah yaitu tingkat penanganan sampah yang mencapai 70% pada 2025. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk dapat meningkatkan tingkat pengelolaan sampah adalah dengan penggunaan filamen daur ulang dalam proses 3D *Printing*. Hal ini dikarenakan pasar untuk produk 3D *Printing* dapat melebihi \$40 Triliun dengan rasio pengembangan sebesar 29% pada tahun 2024. Dengan rasio pengembangan pasar 3D *printing* yang terus meningkat, tentunya juga akan meningkatkan kebutuhan filamen terkhusus penggunaan tipe *Fused Deposition Modeling* (FDM). Proses penelitian ini berfokus untuk mengetahui parameter 3D *Printing* mana yang berpengaruh terhadap hasil cetakan dengan menggunakan filamen *Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG) daur ulang dan non daur ulang. Selain itu, penelitian ini juga berfokus untuk mencari kombinasi parameter untuk dapat menghasilkan hasil cetakan dengan sifat mekanik terbaik.

Proses pengujian sifat mekanik yang digunakan adalah *tensile test* dan *hardness test*. Dalam *tensile test* terdapat informasi yang diberikan sekaligus seperti modulus elastisitas, *yield strength*, dan juga *tensile strength*. Perancangan eksperimen dilakukan dengan *Taguchi Method*. *Taguchi Method* berguna untuk meminimasi efek dari *noise* dan berguna untuk menentukan level paling optimum berdasarkan konsep *robust*. Pengujian *Analysis of Variance* (ANOVA) juga dilakukan untuk dapat mengetahui parameter mana yang berpengaruh secara signifikan.

Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa parameter *layer height* dan *material type* berpengaruh terhadap modulus elastisitas, *yield strength*, dan *tensile strength*. Selain itu, parameter *layer height* juga berpengaruh terhadap *hardness*. Kombinasi parameter pencetakan untuk menghasilkan hasil cetakan dengan nilai modulus elastisitas, *yield strength*, dan *tensile strength* yang baik adalah dengan parameter *material type* non daur ulang, *print temperature* 235°C, *layer height* 0,1 mm, dan *print speed* 60 mm/s. Untuk mendapatkan hasil cetakan dengan nilai *hardness* yang baik *material type* non daur ulang, *print temperature* 240°C, *layer height* 0,1 mm, dan *print speed* 100 mm/s.

ABSTRACT

According to the Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), the amount of waste in Indonesia reaches 23,313,063,604 tons of which plastic waste accounts for 15.6%. The ratio of the level of waste handling in 2019 to 2021 does not exceed 50%. This ratio is still far from the target set by the government, namely the level of waste handling which will reach 70% in 2025. One way that can be done to increase the level of waste management is by using recycled filaments in the 3D Printing process. This is because the market for 3D Printing products can exceed \$40 Trillion with a development ratio of 29% by 2024. With the 3D printing market development ratio continuing to increase, of course it will also increase the need for filaments, especially the use of Fused Deposition Modeling (FDM) types. This research process focuses on knowing which 3D Printing parameters affect the printout using recycled and non-recycled Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG) filaments. In addition, this research also focuses on finding a combination of parameters to be able to produce molds with the best mechanical properties.

The process of testing the mechanical properties used is tensile test and hardness test. In the tensile test there are many information provided at once such as modulus of elasticity, yield strength, and also tensile strength. Taguchi Method is used for experimental design. The Taguchi Method is useful for minimizing the effect of noise and is useful for determining the most optimum level based on the robust concept. Analysis of Variance (ANOVA) testing was also carried out to find out which parameters had a significant effect.

Based on the results of the study, the layer height and material type parameters affect the modulus of elasticity, yield strength, and tensile strength. In addition, the layer height parameter also affects the hardness. The combination of printing parameters to produce prints with good modulus of elasticity, yield strength, and tensile strength is the non-recycled material type parameter, print temperature 235°C, layer height 0.1 mm, and print speed 60 mm/s. To get prints with good hardness values, the combination of parameters are non-recycled type materials, print temperature 240°C, layer height 0.1 mm, and print speed 100 mm/s.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “PENENTUAN PARAMETER MESIN 3D *PRINTING* BERDASARKAN SIFAT MEKANIK HASIL *PRINTING* BERBAHAN FILAMEN PETG”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat mencapai gelar Sarjana dalam bidang ilmu Teknik Industri.

Selama proses penyusunan skripsi, penulis menerima sangat banyak kritik, saran, dan juga masukan baik dari dosen pembimbing maupun dosen penguji. Atas berkat kritik, saran, dan masukan tersebut, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan tepat waktu. Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada.

1. Bapak Ir. Marihot Nainggolan, S.T., M.T., M.S. selaku dosen pembimbing I yang sudah membimbing dan memberikan saran dan masukan kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.
2. Ibu Loren Pratiwi, S.T., M.T selaku dosen pembimbing II yang juga sudah membimbing dan memberikan saran, masukan, dan juga dukungan kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.
3. Bapak Dr. Sugih Sudharma Tjandra, S.T., M.Si. dan Bapak Hanky Fransiscus, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang sudah memberikan kritik, saran, dan masukan kepada penulis.
4. Keluarga inti dari penulis yang sudah memberikan dukungan penuh selama proses penyusunan skripsi.
5. Richard Winata sebagai teman satu topik dan seperjuangan dalam proses pengerjaan dan penyelesaian skripsi.
6. Arbert Wijaya, Daniel Kurniawan, Ivana Sanata, dan Livia Nathania yang sudah menjadi teman sekelompok penulis dalam berbagai tugas perkuliahan.
7. Seluruh teman-teman Kelas B Program Studi Teknik Industri Universitas Katolik Parahyangan yang sudah mendampingi penulis dalam rangkaian dinamika pembelajaran sejak awal hingga akhir perkuliahan.

Proses penyusunan skripsi bertujuan untuk mengetahui perbandingan sifat mekanik dari hasil cetakan filamen 3D *Printing* dengan material PETG daur ulang dan non daur ulang. Penulis sangat berharap skripsi ini dapat berguna bagi perkembangan keilmuan Teknik Industri terkhusus sifat mekanik material filamen 3D *Printing* dengan bahan dasar PETG daur ulang dimana belum tersedia banyak informasi maupun penelitian terkait hal tersebut.

Penulis juga ingin mengucapkan permohonan maaf apabila terdapat kesalahan kata baik disengaja maupun tidak disengaja yang terdapat dalam skripsi ini. Selain itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik, saran, dan juga masukan dari pembaca. Penulis juga sangat berharap skripsi ini dapat berguna bagi para pembaca dan juga akademisi baik dari dalam maupun luar lingkungan Teknik Industri Universitas Katolik Parahyangan.

Bandung, 1 Agustus 2022

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------------|
| ABSTRAK | i |
| ABSTRACT | ii |
| KATA PENGANTAR | iii |
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR TABEL | vii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR LAMPIRAN | xi |
| BAB I PENDAHULUANs | |
| I.1 Latar Belakang Masalah..... | I-1 |
| I.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah | I-2 |
| I.3 Pembatasan Masalah dan Asumsi Penelitian | I-8 |
| I.4 Tujuan Penelitian..... | I-9 |
| I.5 Manfaat Penelitian..... | I-9 |
| I.6 Metodologi Penelitian | I-9 |
| I.7 Sistematika Penulisan | I-12 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| II.1 3D <i>Printing</i> | II-1 |
| II.2 <i>Polyethylene Terephthalate Glycol</i> (PETG)..... | II-4 |
| II.3 Desain Eksperimen | II-7 |
| II.3.1 <i>Taguchi Method</i> | II-8 |
| II.3.2 <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) | II-11 |
| II.4 Sifat Mekanik | II-12 |
| II.4.1 <i>Tensile Test</i> | II-12 |
| II.4.2 <i>Hardness Test</i> | II-14 |
| II.5 Penelitian Terdahulu | II-16 |
| BAB III PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA | |
| III.1 Pre Eksperimen | III-1 |
| III.1.1 <i>Fan Speed</i> | III-1 |
| III.1.2 <i>Print Temperature</i> | III-2 |
| III.1.3 <i>Layer Height</i> | III-3 |

| | | |
|---------|---|--------|
| III.1.4 | <i>Print Speed</i> | III-4 |
| III.2 | Pengumpulan Data Eksperimen..... | III-4 |
| III.3 | Pengujian Spesimen dan Pengolahan Data | III-6 |
| III.3.1 | Data Hasil <i>Tensile Test</i> dan <i>Hardness Test</i> | III-7 |
| III.3.2 | Uji Asumsi <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) | III-12 |
| III.3.3 | Modulus Elastisitas | III-15 |
| III.3.4 | <i>Tensile Stress at Yield</i> | III-19 |
| III.3.5 | <i>Tensile Stress at Maximum Force</i> | III-21 |
| III.3.6 | <i>Hardness</i> | III-23 |
| III.3.7 | Rekapitulasi Hasil Pengolahan Data..... | III-27 |

BAB IV ANALISIS

| | | |
|------|--|------|
| IV.1 | Analisis Proses Pre Eksperimen | IV-1 |
| IV.2 | Analisis Proses Pencetakan Spesimen Uji | IV-3 |
| IV.3 | Analisis Proses <i>Tensile Test</i> dan <i>Hardness Test</i> | IV-3 |
| IV.4 | Analisis Pemilihan Metode yang Dipakai | IV-4 |
| IV.5 | Analisis Pengolahan Data | IV-5 |
| IV.5 | Analisis Penggunaan Filamen PETG Daur Ulang | IV-6 |

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

| | | |
|-----|------------------|-----|
| V.1 | Kesimpulan | V-1 |
| V.2 | Saran..... | V-2 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

RIWAYAT PENULIS

DAFTAR TABEL

| | |
|---|--------|
| Tabel II.1 Bagian dari Mesin 3D <i>Printing</i> | II-2 |
| Tabel II.2 Parameter Proses dalam FDM..... | II-2 |
| Tabel II.3 <i>Technical Specification</i> dari AnyCubic Mega Zero | II-4 |
| Tabel II.4 Karakteristik Plastik PET | II-4 |
| Tabel II.5 Karakteristik polimer PETG | II-5 |
| Tabel II.6 Spesifikasi Filamen PETG Daur Ulang | II-6 |
| Tabel II.7 Karakteristik Kualitas dalam <i>Taguchi Method</i> | II-10 |
| Tabel II.8 Tabel Panduan Pemilihan Tipe Durometer..... | II-15 |
| Tabel II.9 Referensi Penggunaan Parameter dan Level Pencetakan dalam Penelitian Terdahulu..... | II-17 |
| Tabel III.1 Parameter dan Level 3D <i>Printing</i> dalam Eksperimen..... | III-5 |
| Tabel III.2 Rancangan Eksperimen Menggunakan <i>Taguchi Method</i> | III-6 |
| Tabel III.3 Rekapitulasi Hasil Respon dari <i>Tensile Test</i> dan <i>Hardness Test</i> | III-8 |
| Tabel III.4 Contoh Perhitungan untuk Mendapatkan Nilai <i>Strain and Stress</i> | III-9 |
| Tabel III.5 Rekapitulasi nilai <i>Levene's Test</i> untuk Setiap Variabel Respon..... | III-13 |
| Tabel III.6 Rekapitulasi Uji Independensi Setiap Variabel | III-14 |
| Tabel III.7 Nilai Modulus Elastisitas dan <i>S/N ratio</i> Setiap Eksperimen..... | III-16 |
| Tabel III.8 <i>Response Table</i> untuk <i>S/N ratios</i> dalam Modulus Elastisitas | III-17 |
| Tabel III.9 Hasil ANOVA untuk Respon Modulus Elastisitas | III-18 |
| Tabel III.10 Nilai <i>Tensile Stress at Yield</i> dan <i>S/N ratio</i> Setiap Eksperimen..... | III-19 |
| Tabel III.11 <i>Response Table</i> untuk <i>S/N ratios</i> dalam <i>Tensile Stress at Yield</i> . III-20 | |
| Tabel III.12 Hasil ANOVA untuk Respon <i>Tensile Stress at Yield</i> | III-20 |
| Tabel III.13 Nilai <i>Tensile Stress at Max. Force</i> dan <i>S/N ratio</i> Setiap Eksperimen | III-21 |
| Tabel III.14 <i>Response Table</i> untuk <i>S/N ratios</i> dalam <i>Tensile Stress at Maximum Force</i> | III-22 |
| Tabel III.15 Hasil ANOVA untuk Respon <i>Tensile Stress at Maximum Force</i> .. | III-22 |
| Tabel III.16 Nilai <i>Hardness</i> dan <i>S/N ratio</i> Setiap Eksperimen | III-24 |
| Tabel III.17 <i>Response Table</i> untuk <i>S/N ratios</i> dalam <i>Hardness</i> | III-25 |
| Tabel III.18 Hasil ANOVA untuk Respon <i>Hardness</i> | III-26 |

| | |
|--|--------|
| Tabel III.19 Rekapitulasi Nilai Rata-rata <i>S/N Ratio</i> Terbaik Setiap Variabel Respon | III-27 |
| Tabel III.20 Rekapitulasi Hasil Uji <i>Analysis of Variance</i> Setiap Variabel Respon | III-28 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|--------|
| Gambar I.1 Komposisi Sampah Berdasarkan Jenis Sampah pada Tahun 2021 | I-1 |
| Gambar I.2 Persentase Penanganan Sampah Tahun 2019-2021 | I-3 |
| Gambar I.3 Komposisi Sampah Plastik Berdasarkan Tipe Plastik | I-4 |
| Gambar I.4 Teknologi 3D <i>Printing</i> yang Paling Banyak Digunakan di Dunia Tahun 2020 | I-6 |
| Gambar I.5 Metodologi Penelitian | I-10 |
| Gambar II.1 Proses 3D <i>Printing</i> | II-1 |
| Gambar II.2 <i>Infill Patterns</i> | II-3 |
| Gambar II.3 Proses Produksi Material PETG Daur Ulang | II-6 |
| Gambar II.4 Perbandingan <i>noise interaction</i> dalam <i>robust design</i> | II-9 |
| Gambar II.5 <i>Orthogonal Arrays</i> L18 | II-10 |
| Gambar II.6 Bentuk dan Spesimen Uji <i>Type IV</i> terhadap Plastik sesuai Standar ASTM D638 | II-12 |
| Gambar II.7 Kurva <i>Stress-Strain</i> | II-13 |
| Gambar II.8 Durometer | II-15 |
| Gambar III.1 Hasil Kegagalan Pencetakan Akibat Perubahan Level <i>Fan</i> <i>Speed</i> | III-2 |
| Gambar III.2 Hasil Eksperimen Kegagalan Perubahan Level <i>Print</i> <i>Temperature</i> | III-2 |
| Gambar III.3 Hasil Eksperimen Level Parameter dari <i>Print Temperature</i> | III-3 |
| Gambar III.4 Hasil Eksperimen Level Parameter dari <i>Layer Height</i> | III-3 |
| Gambar III.5 Hasil Eksperimen Level Parameter dari <i>Print Speed</i> | III-4 |
| Gambar III.6 Proses <i>Printing</i> Filamen PETG Non Daur Ulang (kiri) dan Daur Ulang (kanan) | III-6 |
| Gambar III.7 Instron 5985 untuk <i>Tensile Test</i> | III-7 |
| Gambar III.8 Kurva <i>Stress-Strain</i> Spesimen 10-13 dari Mesin Instron 5985 | III-8 |
| Gambar III.9 Kurva <i>Stress-Strain</i> Spesimen 10 | III-10 |
| Gambar III.10 Kurva <i>Stress-Strain</i> Spesimen 10 Setelah Dipotong | III-11 |
| Gambar III.11 Contoh Perhitungan Nilai <i>Yield Strength</i> Spesimen 10 | III-11 |
| Gambar III.12 Patahan Spesimen yang Berserabut dari Hasil <i>Tensile Test</i> | III-12 |

| | | |
|---------------|--|--------|
| Gambar III.13 | Pengujian Asumsi Kenormalan untuk Setiap Variabel Respons..... | III-13 |
| Gambar III.14 | <i>Main Effects Plot</i> untuk S/N ratios dalam Modulus Elastisitas.. | III-16 |
| Gambar III.15 | <i>Main Effects Plot</i> untuk S/N ratios dalam <i>Tensile Stress at Yield</i> | III-20 |
| Gambar III.16 | <i>Main Effects Plot</i> untuk S/N ratios dalam <i>Tensile Stress at Maximum Force</i> | III-22 |
| Gambar III.17 | Alat Shore D Durometer..... | III-23 |
| Gambar III.18 | Proses Pengujian <i>Hardness Test</i> | III-23 |
| Gambar III.19 | <i>Main Effects Plot</i> untuk S/N ratios dalam <i>Hardness</i> | III-25 |
| Gambar III.20 | <i>Interaction Plot</i> dari Parameter dalam <i>Hardness</i> | III-26 |
| Gambar IV.1 | Hasil Pencetakan Spesimen Uji | IV-7 |

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A DIMENSI SPESIMEN UJI TARIK BERDASARKAN ASTM
D368

LAMPIRAN B DATA *TENSILE TEST* UNTUK SPESIMEN UJI DENGAN
FILAMEN PETG DAUR ULANG

LAMPIRAN C DATA *TENSILE TEST* UNTUK SPESIMEN UJI DENGAN
FILAMEN PETG NON DAUR ULANG

LAMPIRAN D DATA *HARDNESS TEST*

LAMPIRAN E HASIL PENGUJIAN *LEVENE'S TEST*

LAMPIRAN F HASIL PENGUJIAN NILAI *RESPONSE* DAN ANOVA MELALUI
SOFTWARE MINITAB

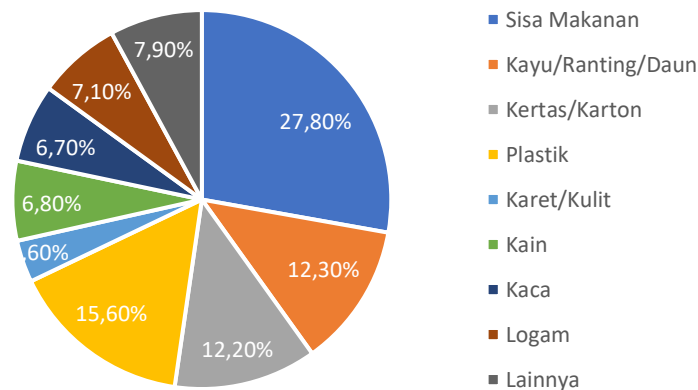
BAB I

PENDAHULUAN

Dalam Bab I dibahas mengenai bagian pendahuluan dari penelitian. Pendahuluan diawali dengan pembahasan latar belakang masalah hingga sistematika penulisan. Berikut ini adalah pembahasan dari masing-masing sub bab pendahuluan.

I.1 Latar Belakang Masalah

Permasalahan mengenai pengelolaan limbah hingga saat ini masih menjadi tugas yang perlu dibenahi bagi pemerintah dan juga masyarakat Indonesia. SIPSN (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional) menyampaikan bahwa pada tahun 2021 timbulan sampah di Indonesia mencapai 23.313.063,604 ton dengan jumlah pengurangan sampah sebesar 14,06%. Selain itu, juga terdapat informasi bahwa sampah terkelola hanya mencapai 63,35% pada tahun 2021.



Gambar I.1 Komposisi Sampah Berdasarkan Jenis Sampah pada Tahun 2021
(Sumber: Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional, 2022)

Secara umum, terdapat 2 jenis sampah yaitu organik dan anorganik. Sampah organik merupakan jenis sampah yang berasal dari makhluk hidup seperti sayur-sayuran, buah-buahan, daun kering, dan lain-lain. Sifat dari sampah organik adalah tidak tahan lama dan mudah terurai. Berbeda dengan sampah organik,

sampah non organik merupakan jenis sampah yang berasal dari bahan logam, plastik, kaca dan lain-lain. Sampah dengan jenis ini tidak mudah terurai oleh mikroorganisme tanah. Persentase komposisi sampah berdasarkan jenis sampah pada tahun 2021 dapat dilihat pada Gambar I.1.

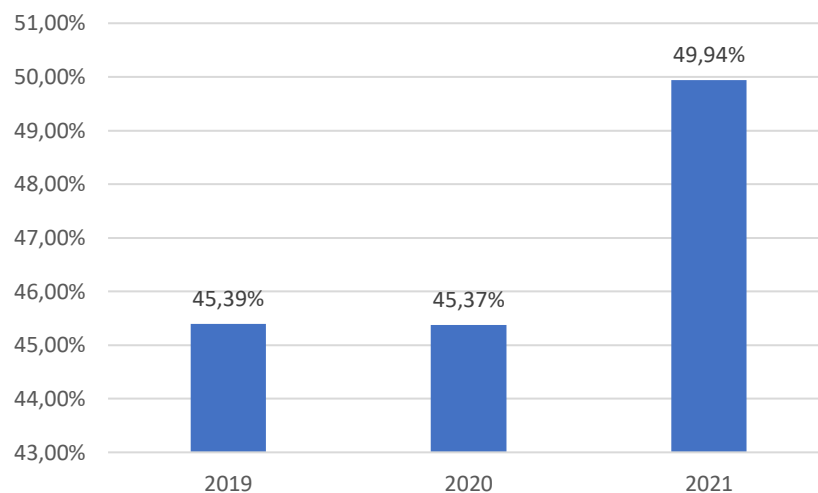
Berdasarkan Gambar I.1, dapat dilihat bahwa sampah plastik menyumbang sekitar 15,6% dari seluruh komposisi jenis sampah. Selain itu, juga terdapat informasi bahwa sampah plastik merupakan jenis sampah terbanyak kedua setelah sampah sisa makanan. Menurut Karuniastuti (2013), plastik memiliki banyak kegunaan seperti pada penggunaan wadah makanan, botol minum, alat makanan, kantong kresek yang bersifat praktis dan bersih, mudah didapatkan, dan juga memiliki harga yang murah. Namun, dibalik banyaknya kegunaan dan manfaat dari plastik, terdapat sisi negatif dari penggunaan plastik. Untuk dapat terurai dengan sempurna, plastik membutuhkan waktu mulai dari 100 hingga 500 tahun (Karuniastuti, 2013). Selain itu, asap dari pembakaran plastik juga dapat berbahaya bagi sistem pernapasan manusia. Apabila dari ditinjau dari sisi kesehatan manusia, plastik juga dapat berdampak buruk seperti pemicu timbulnya sel kanker dan juga bersifat merusak jaringan tubuh manusia atau karsinogenik (Karuniastuti, 2013).

Berbagai upaya telah diupayakan oleh pemerintah untuk dapat mengurangi sampah rumah tangga. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 81 Tahun 2021, salah satu metode yang dapat diterapkan rumah tangga untuk pengelolaan sampah adalah 3R yaitu *reduce*, *reuse*, dan *recycle*. Pengurangan penggunaan sampah plastik juga dapat kita temui pada kehidupan sehari-hari. Gubernur DKI Jakarta menerbitkan Peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 142 Tahun 2019 mengenai kebijakan penggunaan kantong belanja ramah lingkungan. Adapun peraturan tersebut mengatur kebijakan bagi toko swalayan, pedagang, dan pemilik toko untuk dilarang menyediakan kresek dan para konsumen wajib menyediakan kantong belanja ramah lingkungan. Sistem pengurangan plastik tersebut dapat dilihat di beberapa kota besar lainnya di Indonesia.

I.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Berdasarkan informasi yang diperoleh dari SIPSN (2022), diketahui bahwa jumlah penanganan sampah pada tahun 2021 hanya mencapai 49,94%

dari total keseluruhan sampah. Hal tersebut juga terjadi pada tahun 2019 dan 2020 dimana jumlah penanganan sampah hanya mencapai 45,39% dan 45,37%. Pada Gambar I.2 berikut ini ditampilkan mengenai persentase penanganan sampah pada tahun 2019 hingga 2021.



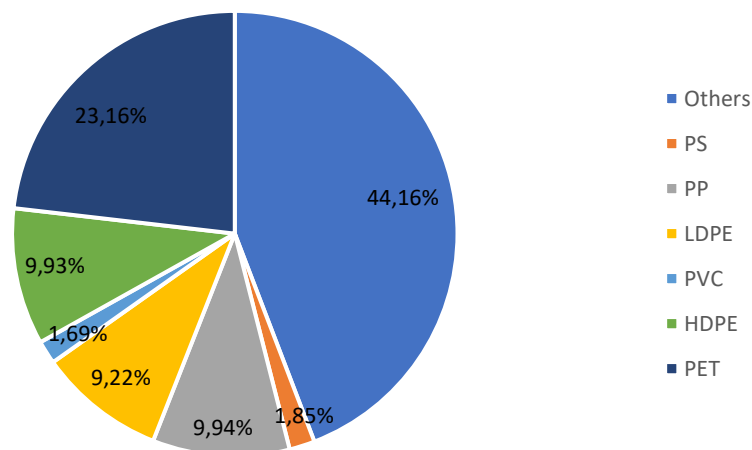
Gambar I.2 Persentase Penanganan Sampah Tahun 2019-2021
(Sumber: Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional, 2022)

Berdasarkan Gambar I.2, dapat diketahui bahwa jumlah persentase penanganan sampah masih jauh dari target yang ditetapkan pemerintah. Menurut Peraturan Presiden No. 97 Tahun 2017, ditargetkan terjadi penanganan sampah rumah tangga sebesar 70% pada tahun 2025. Berdasarkan hal tersebut, masyarakat khususnya rumah tangga diperlukan adanya partisipasi terhadap proses penanganan sampah terkhusus sampah sisa makanan dan juga plastik. Sampah makanan mungkin dapat membusuk dengan cepat, namun berbeda dengan plastik yang membutuhkan waktu yang lama untuk dapat terurai.

Berbagai macam jenis plastik dapat ditemui dalam kehidupan sehari-hari. Menurut Bahriani (2018), secara umum klasifikasi jenis plastik dapat dibagi menjadi 7 yaitu *Polyethylene Terephthalate* (PET), *High-Density Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low-Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), *Polystyrene* (PS), dan *Other*. Plastik dengan tipe *other* juga terbagi menjadi 4 golongan yaitu *Styrene Acrylonitrile* (SAN), *Acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), *Polycarbonate* (PC), dan *nylon*.

Samadikun, Ramadan, Rezagama, Andarani, dan Dewi (2020) menyampaikan bahwa sampah plastik dengan tipe *others* memiliki persentase

paling besar yaitu 44,16%. Setelah itu, jenis plastik dengan tipe PET memiliki persentase sebesar 23,16%. Hal tersebut menunjukkan bahwa sampah PET menyumbang sampah dengan persentase yang cukup besar. Informasi lengkap mengenai komposisi sampah plastik berdasarkan tipe terdapat pada Gambar I.3 berikut ini.



Gambar I.3 Komposisi Sampah Plastik Berdasarkan Tipe Plastik

Penanganan sampah plastik juga dapat dengan mudah dimanfaatkan bagi sebagian besar orang. Salah satu contohnya adalah pembuatan pot bunga dari botol plastik bekas. Hal tersebut tentu saja dapat mengurangi jumlah limbah yang terbentuk dan juga membuat pengguna menjadi ekonomis karena tidak memerlukan biaya besar untuk membeli suatu produk seperti pot bunga. Selain itu, beragam olahan plastik bekas juga sering dimanfaatkan sebagai ide berjualan yang tentunya akan menguntungkan. Menurut Syam (2019), salah satu warga Maluku Utara (Ulfa Zainal) dapat mengolah berbagai barang bekas seperti botol plastik menjadi produk yang dapat meraup keuntungan hingga jutaan rupiah.

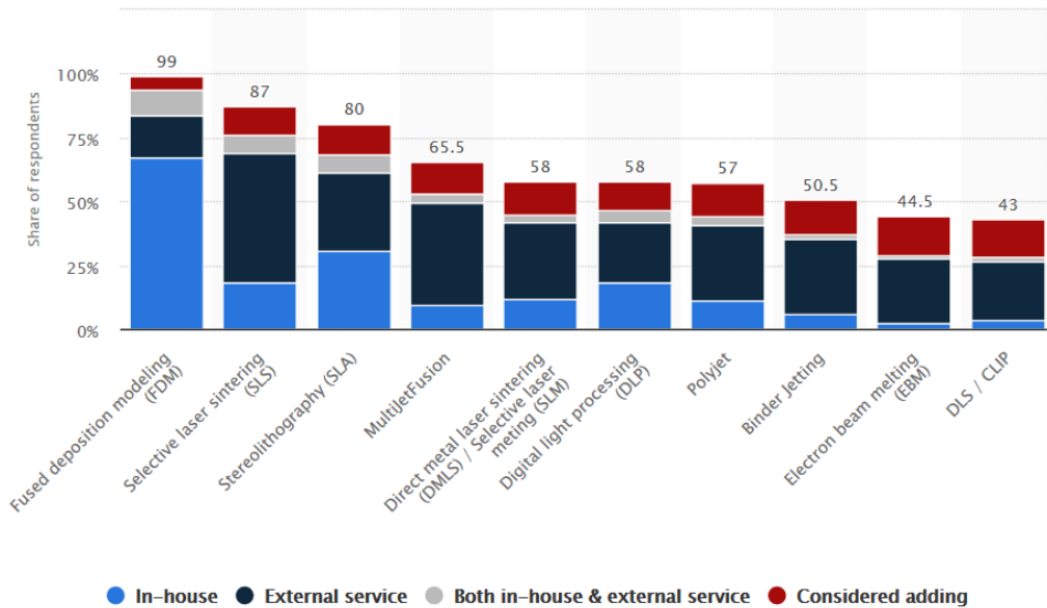
Plastik dengan tipe PET merupakan jenis plastik yang sering kita temui dalam kehidupan sehari-hari. Contoh produk yang menggunakan plastik dengan jenis PET adalah botol plastik. Menurut Callister dan Rethwisch (2007), plastik PET merupakan salah satu jenis plastik yang paling kokoh dan sulit untuk sobek. Selain itu, plastik PET juga memiliki pertahanan terhadap kelembaban, asam, minyak, dan juga pelarut (Callister dan Rethwisch, 2007). Menurut Bahraini (2018), plastik PET merupakan jenis plastik yang paling banyak digunakan dalam program

daur ulang, namun memiliki masalah kesehatan karena mengandung senyawa karsinogen yang dapat memicu timbulnya kanker.

Menurut Awaja dan Pavel (2005), PET merupakan tipe plastik *non-degradable* dalam kondisi normal dimana tidak diketahui adanya organisme yang dapat mengonsumsi molekul dari PET yang besar. Proses daur ulang merupakan metode atau jalan terbaik untuk dapat mengurangi limbah PET secara ekonomis (Awaja dan Pavel, 2005). Salah satu perusahaan *clean-tech* Indonesia yang berfokus mendaur ulang botol PET yaitu Inocycle menyampaikan plastik dengan tipe PET merupakan salah satu jenis polimer yang bisa didaur ulang menjadi bentuk yang sama secara berulang seperti botol plastik. Beberapa contoh penerapan daur ulang atau *downgrade* PET seperti serat untuk pakaian, *home textiles* seperti selimut, bantal, dan karpet, *part* otomotif seperti karpet dan *sound insulation* dan juga *industrial goods* (Inocycle, n.d)

Salah satu variasi dari jenis polimer PET adalah PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*). PETG merupakan jenis plastik PET dimana diberikan tambahan *Glycol* selama proses polimerisasi. Salah satu penerapan penggunaan bahan PETG adalah filamen 3D *printing*. Plastik dengan tipe PETG juga sering disebut memiliki perpaduan dari keunggulan dari PLA (*Poly Lactic Acid*) dan juga ABS (Torta dan Tortora, 2019). Dolzyk dan Jung (2019) juga mengatakan bahwa filamen PETG menjadi alternatif selain PLA dan ABS dalam teknologi FDM (*Fused Deposition Modeling*). Beberapa contoh benda yang cocok untuk dicetak dengan filamen PETG adalah aksesoris *handphone*, *part* mekanik, botol minum, dan perhiasan (Torta dan Tortora, 2019)

Additive Layer Manufacturing atau *3D Printing* merupakan salah satu metode pembuatan objek dalam bentuk 3 dimensi. Menurut Torta dan Tortora (2019), *Fused Deposition Modeling* (FDM) merupakan jenis *printer* yang paling banyak atau umum untuk digunakan. *Fused Deposition Modeling* (FDM) bekerja dengan cara memanaskan filamen termoplastik hingga titik leleh tertentu lalu dikeluarkan di atas lapisan material untuk membentuk sebuah objek 3D (Torta dan Tortora, 2019). Sebanyak 99% responden menggunakan dan mempertimbangkan penggunaan dari tipe FDM (*Fused Deposition Modeling*) (Statista, 2020). Pada Gambar 1.4 berikut ini adalah gambaran mengenai teknologi *3D printing* yang paling banyak digunakan di dunia.



Gambar 1.4 Teknologi 3D *Printing* yang Paling Banyak Digunakan di Dunia Tahun 2020 (Sumber: Statista, 2020)

Menurut Torta dan Torta (2019), terdapat beberapa penggunaan 3D *printing* dalam industri seperti *part* mesin dari pesawat luar angkasa, (bidang *aerospace*), penelitian non destruktif dalam *archeology*, *prototype* dan *architecture model*, dan dalam teknologi pembuat makanan. Selain itu, Torta dan Torta (2019) juga menyampaikan mengenai potensi pengembangan dari penggunaan 3D *printer* dalam bidang *agriculture*, *armed forces*, *art*, *automobiles*, *environment*, *fashion*, *madicinel*, dan *sports*. Terdapat beberapa jenis filamen yang secara umum dapat digunakan dalam proses 3D *printing* dengan tipe FDM (*Fused Deposition Modeling*) yaitu ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), PLA (*Polylactic Acid*), PVA (*Polyvinyl Alcohol*), PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*), HIPS (*High Impact Polystyrene*), dan *nylon* (Torta dan Torta, 2019). Penggunaan 3D *Printing* dengan jenis FDM hingga saat ini sudah sangat berkembang. Menurut Dave dan Davim (2021), pengaplikasian dari teknologi FDM terdapat pada sektor medis seperti pembuatan prototipe perencanaan operasi, peralatan medis, panduan pembedahan, dan lain-lain. Selama pandemi COVID-19, teknologi FDM memungkinkan untuk menghasilkan beberapa benda seperti masker wajah (Dave dan Davim, 2021).

Agashe, Sachdeva, dan Chavan (2020) menyampaikan bahwa dengan rasio pengembangan dari teknologi *additive manufacturing*, dapat diestimasikan bahwa pasar untuk produk 3D *printing* dapat melebihi \$40 Triliun dalam tahun 2024

dengan rasio pengembangan sebesar 29%. Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui bahwa penggunaan 3D *printing* akan berkembang dengan sangat pesat. Untuk itu, kebutuhan filamen dalam proses penggunaan 3D *printing* juga tentunya akan meningkat.

Dengan adanya penggunaan filamen 3D *Printing* yang semakin besar, tentunya dapat dijadikan peluang untuk meningkatkan penggunaan filamen 3D *printing* berbahan dasar daur ulang plastik yang tentunya memiliki harga yang lebih rendah dan juga ramah lingkungan. Menurut Anderson (2017), dengan rasio pengembangan penggunaan 3D *printing* yang tinggi, jumlah dari *waste* juga meningkat dengan rasio yang cepat. *Waste* tersebut dapat ditimbulkan akibat dari kegagalan pencetakan dan juga struktur penopang yang dibuang (Anderson, 2017). Beberapa penelitian terkait proses daur ulang sudah dilakukan dan beberapa mesin daur ulang mulai dikembangkan untuk penggunaan rumah tangga, namun belum ada data dari sifat mekanik komponen yang diproduksi dengan mesin 3D *printing* berbahan dasar filamen daur ulang (Anderson, 2017).

Adapun urgensi dari penelitian ini adalah untuk dapat menentukan kombinasi parameter untuk dapat menghasilkan hasil cetakan 3D *Printing* dari filamen dengan sifat mekanik yang baik. Hasil dari filamen daur ulang ini diharapkan dapat dijadikan opsi atau alternatif sebagai filamen untuk 3D *printing* yang tentunya dapat mengurangi biaya dan mengurangi sampah plastik terutama PET. Menurut Anderson (2017), melakukan penelitian mengenai sifat mekanik dari filamen daur ulang dan non daur ulang akan memberikan pengetahuan dasar yang diperlukan untuk pengembangan teknologi 3D *Printing*. Menurut Dolzyk dan Jung (2019), filamen PETG merupakan alternatif sebagai material 3D *Printing* selain PLA dan ABS namun belum banyak informasi berkenaan dengan sifat mekanik dari filamen PETG.

Penelitian ini berfokus untuk melakukan perancangan desain eksperimen terhadap filamen 3D *Printing* dengan jenis *Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG) daur ulang dan non daur ulang. Filamen yang digunakan merupakan hasil pengolahan bahan bekas seperti mainan lego dan perlengkapan berkebun. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Taguchi Method*. Menurut Mitra (2016), *Taguchi Method* merupakan sebuah metode yang digunakan untuk meminimasi efek dari *noise* dan menentukan level yang paling optimum berdasarkan konsep *robust*. Menurut Soejanto (2009), *Taguchi Method* bertujuan

untuk memperbaiki kualitas dari produk dengan menggunakan biaya dan sumber daya yang minimum. Untuk dapat mengetahui parameter mana yang berpengaruh secara signifikan terhadap sifat mekanik hasil cetakan, juga dilakukan pengujian *Analysis of Variance* (ANOVA). Adapun rumusan permasalahan dari penelitian ini adalah

1. Apa saja parameter yang berpengaruh secara signifikan terhadap hasil cetakan 3D *Printing* dengan filamen PETG daur ulang dan non daur ulang?
2. Bagaimana rekomendasi parameter pencetakan yang baik untuk menghasilkan produk hasil 3D *Printing* dengan sifat mekanik yang baik dari filamen PETG daur ulang dan non daur ulang?

I.3 Pembatasan Masalah dan Asumsi Penelitian

Terdapat banyak jenis filamen yang digunakan dalam proses 3D *Printing*. Menurut Sood, Ohdar dan Mahapatra (2009), material yang paling banyak digunakan dalam proses 3D *Printing* adalah *Polylactic Acid* (PLA) dan *Acrylonitrile-butadiene-styrene* (ABS). Dolzyk dan Jung (2019) juga mengatakan bahwa filamen PETG daur ulang dapat menjadi alternatif selain PLA dan ABS dalam teknologi FDM. Batasan masalah dari penelitian yang dilakukan adalah

1. Mesin 3D *Printing* yang digunakan adalah AnyCubic Mega Zero.
2. Filamen yang digunakan berbahan dasar PETG daur ulang dan non daur ulang.
3. Pengujian sifat mekanik yang dilakukan adalah *tensile test* dan *hardness test*.
4. Sifat mekanik hanya berfokus pada modulus elastisitas, *yield strength*, *tensile strength*, dan *hardness*.
5. *Build orientation* yang digunakan adalah *flat* atau di sumbu XY.

Selain batasan masalah juga terdapat asumsi penelitian. Asumsi penelitian berguna untuk penyesuaian keadaan penelitian terhadap proses pengolahan data yang nantinya dilakukan. Asumsi dari penelitian yang digunakan adalah performansi dari mesin 3D *Printing* Anycubic Mega Zero dianggap konstan untuk setiap proses pencetakan.

I.4 Tujuan Penelitian

Pada subbab ini dijabarkan mengenai tujuan dari penelitian. Tujuan penelitian yang ditetapkan berguna sebagai arahan dari penelitian yang dilakukan. Di bawah ini adalah tujuan dari dilakukannya penelitian.

1. Mengetahui parameter yang berpengaruh secara signifikan terhadap hasil cetakan 3D *Printing* dengan filamen PETG daur ulang dan non daur ulang.
2. Mengetahui rekomendasi parameter pencetakan yang baik untuk menghasilkan produk hasil 3D *Printing* dengan sifat mekanik yang baik dari filamen PETG daur ulang dan non daur ulang.

I.5 Manfaat Penelitian

Proses penelitian yang dilakukan tentunya memiliki manfaat. Manfaat tersebut diharapkan dapat berguna dari segi jangka pendek maupun jangka panjang. Berikut ini adalah manfaat dari penelitian yang dilakukan.

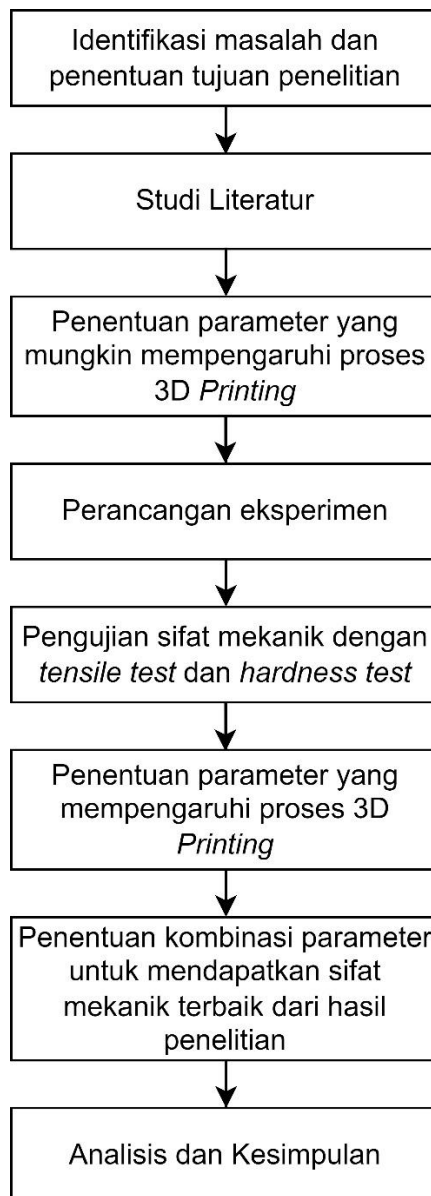
1. Dapat menerapkan penggunaan filamen 3D *Printing* berbahan dasar PETG daur ulang yang lebih murah dan ramah lingkungan.
2. Dapat meningkatkan kualitas hasil cetakan 3D *Printing* berbahan dasar filamen PETG daur ulang dengan pengaturan parameter yang baik dan sesuai.
3. Dapat memberikan pilihan atau alternatif penggunaan filamen 3D *Printing* daur ulang yang dapat menghasilkan cetakan yang baik dan berkualitas.

I.6 Metodologi Penelitian

Dalam sub bab ini dijelaskan mengenai metodologi penelitian. Penelitian dimulai dari proses identifikasi masalah hingga analisis dan kesimpulan. Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing tahapan metodologi penelitian. Pada Gambar I.5 juga disajikan mengenai metodologi penelitian.

1. Identifikasi Masalah dan Tujuan Penelitian

Pada tahapan ini dilakukan proses identifikasi terhadap permasalahan yang ada. Proses identifikasi yang dilakukan biasanya dilakukan berdasarkan fenomena yang ada di sekitar. Setelah proses identifikasi masalah, dilanjutkan dengan penentuan tujuan penelitian.



Gambar 1.5 Metodologi Penelitian

2. Studi Literatur

Studi literatur merupakan suatu proses mempelajari berbagai kajian teori yang berkaitan langsung dengan topik permasalahan yang diteliti. Pada tahapan ini dilakukan pencarian mengenai material 3D *Printing* yang dibuat dari bahan daur ulang, dan penentuan parameter yang dapat mempengaruhi hasil 3D *Printing*. Selain itu juga dilakukan penentuan mengenai metode desain eksperimen yang sesuai dengan penelitian.

3. Penentuan parameter yang mungkin mempengaruhi proses 3D *Printing*
Pada tahapan ini dilakukan pemilihan parameter yang diduga dapat mempengaruhi hasil dari 3D *Printing*. Penentuan parameter didasarkan pada hasil pre eksperimen. Terdapat 4 buah parameter yang diuji pada tahap pre eksperimen yaitu *fan speed*, *print temperature*, *layer height*, dan juga *print speed*.
4. Perancangan Eksperimen
Proses perancangan eksperimen akan didasarkan pada hasil pre eksperimen yang telah dilakukan pada proses sebelumnya. Parameter pencetakan yang diuji terdiri dari *material type*, *print temperature*, *layer height*, dan *print speed*.
5. Pengujian Sifat Mekanik
Pada proses ini, spesimen uji yang sudah selesai dicetak akan diuji tarik (*tensile test*) dan juga kekerasan (*hardness*) untuk mendapatkan rangkaian informasi yang diperlukan mengenai sifat mekanik.
6. Penentuan Parameter yang Mempengaruhi Proses 3D *Printing*
Berdasarkan data yang telah didapatkan sebelumnya, dapat dilakukan uji *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk dapat mengetahui parameter apa saja yang berpengaruh terhadap hasil pencetakan. Selain itu dilakukan juga mengenai penentuan level dari masing-masing parameter untuk dapat menghasilkan hasil cetakan dengan sifat mekanik yang paling baik berdasarkan hasil eksperimen.
7. Penentuan Kombinasi Parameter untuk Mendapatkan Sifat Mekanik Terbaik dari Hasil Penelitian
Penentuan kombinasi parameter dapat dilihat dengan *Taguchi Method* dengan melihat nilai *response* pada masing-masing parameter. Nilai *response* yang digunakan berdasarkan pada *S/N ratio*.
8. Analisis dan Kesimpulan
Proses terakhir yang dilakukan dalam proses penelitian adalah melakukan analisis terhadap hasil percobaan dan menarik kesimpulan yang didasarkan pada tujuan penelitian.

I.7 Sistematika Penulisan

Dalam subbab ini dibahas mengenai sistematika penulisan. Penulisan skripsi berdasarkan pada aturan penulisan yang berlaku di dalam universitas. Berikut ini adalah sistematika penulisan dari penulisan skripsi berikut ini.

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan berisi mengenai latar belakang masalah, identifikasi dan perumusan masalah, pembatasan masalah dan asumsi penelitian, tujuan dan manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan juga sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam Bab II tertera mengenai serangkaian dasar teori yang diperlukan selama proses penelitian. Teori yang digunakan terdiri dari proses 3D *printing*, tipe plastik PETG, proses desain eksperimen, sifat mekanik pada benda, dan juga penelitian terdahulu.

BAB III PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada Bab III berisi mengenai seluruh proses pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan pada proses penelitian. Proses pengambilan data dimulai dari percobaan pre eksperimen hingga proses pengolahan data untuk membandingkan sifat mekanik antara hasil cetakan dari filamen PETG daur ulang dan non daur ulang.

BAB IV ANALISIS

Pada Bab IV berisi analisa dari hasil-hasil pengolahan data yang sudah diolah pada Bab III. Analisis yang dibahas tentunya perlu didasarkan pada tujuan yang telah ditetapkan pada awal penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam Bab V dijelaskan mengenai kesimpulan dan saran dari penelitian. Kesimpulan yang dibahas akan didasarkan pada tujuan penelitian, sedangkan saran berisi mengenai serangkaian hal-hal yang dapat dijadikan bahan perbaikan untuk penelitian selanjutnya.