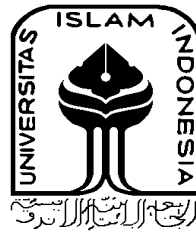


**PEMBUATAN FILAMENT 3D PRINTING *FUSED FILAMENT*  
*FABRICATION* DARI BOTOL *POLYETHYLENE*  
*TEREPHTHALATE***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



**Disusun Oleh :**

**Nama : Hanif Sobari**  
**No. Mahasiswa : 20525028**  
**NIRM : 2002230050**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2026**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hanif Sobari

NIM : 20525028

Judul Tugas Akhir : Pembuatan Filamen 3D *Printing Fused Filament Fabrication* Dari Botol *Polyethylene Terephthalate*

Dengan ini saya mengatakan bahwa tugas akhir ini mutlak karya sendiri, serta kutipan yang dilakukan secara tertulis berdasarkan kaidah dalam penulisan karya ilmiah yang berlaku. Sebagaimana penulis tidak melakukan plagiarisme terhadap dari karya ilmiah orang lain, kecuali kutipan dan referensi yang tercantum di dalam penulisan karya ilmiah ini. Apabila pernyataan penulis tidak benar di kemudian hari, serta terdapat melakukan pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya ilmiah ini. Penulis bersedia menanggung konsekuensi atau sanksi akademik yang berlaku. Demikianlah surat pernyataan ini yang saya buat sebagai bentuk pertanggungjawaban, tanpa ada paksaan atau pihak tertentu yang terlibat di dalamnya.

Yogyakarta, 06 Februari 2026

Yang menciptakan pernyataan,



Hanif Sobari

(20525028)

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

**PEMBUATAN FILAMENT 3D PRINTING FUSED FILAMENT  
FABRICATION DARI BOTOL POLYETHYLENE  
TEREPHTHALATE**

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Hanif Sobari**  
**No. Mahasiswa : 20525028**  
**NIRM : 2002230050**

Yogyakarta, 15 Januari 2026

Pembimbing I,



Rahmat Riza, S.T., M.Sc.ME.

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**

**PEMBUATAN FILAMENT 3D PRINTING FUSED FILAMENT  
FABRICATION DARI BOTOL POLYETHYLENE  
TEREPHTHALATE**

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Hanif Sobari**  
**No. Mahasiswa : 20525028**  
**NIRM : 2002230050**

Tim Penguji

Rahmat Riza, S.T., M.Sc.ME.

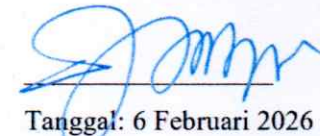
Ketua



Tanggal: 6 Februari 2026

Ir. Santo Ajie Dhewanto, S.T., M.M. IPP

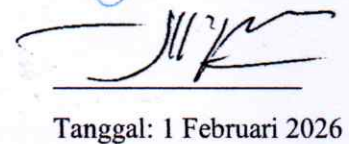
Anggota I



Tanggal: 6 Februari 2026

Dr. Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng.

Anggota II



Tanggal: 1 Februari 2026

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Dengan rasa syukur yang mendalam kepada Allah SWT dan Rasulullah SAW, tugas akhir ini saya persembahkan untuk Bapak Sriyono, Ibu Fatmasari yang selalu memberikan doa, dukungan, dan cinta tanpa batas sepanjang perjalanan hidup dan pendidikan saya. Kepada keluarga tercinta yang senantiasa menjadi sumber semangat dalam setiap langkah.

## **HALAMAN MOTTO**

**"Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan."**

(QS. Al-Insyirah: 6)

**"Dan katakanlah: 'Ya Tuhanku, tambahkanlah kepadaku ilmu pengetahuan.'"**

(QS. Taha: 114)

**"Barang siapa bertakwa kepada Allah niscaya Dia akan mengadakan baginya jalan keluar, dan memberinya rezeki dari arah yang tiada disangka-sangkanya."**

(QS. At-Talaq: 2-3)

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr.wb

Alhamdulillahirabbil ‘alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan petunjuk-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**PEMBUATAN FILAMENT 3D PRINTING FUSED FILAMENT FABRICATION BERBASISKAN BOTOL POLYETHYLENE TEREPHTHALATE**". Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana pada Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT karena atas limpahan rahmat-Nya dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Sriyono dan Ibu Fatmasari yang selalu memberikan semangat, doa, kasih sayang, serta dukungan moril dan materil yang tak ternilai.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo M.T. selaku dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., IPP selaku Ketua Program studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Rahmat Riza, S.T., M.Sc., ME. Selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, nasihat dan semangat kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir.
6. Teman – teman seperjuangan di jogja terima kasih kalian teman yang memberikan lelucon dan tidak lupa memberikan semangat untuk penulis agar menyelesaikan tugas akhir ini.

7. Diri sendiri karena ketika di awal semester IPK penulis sempat di bawah rata – rata oleh karena itu harus belajar ekstra hingga penulisan tugas akhir ini selesai, terima kasih karena selalu percaya bahwa rintangan pasti dapat dilewati dan badai pasti berlalu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap laporan ini dapat digunakan sebagaimana mestinya serta memberikan manfaat baik bagi penulis sendiri maupun bagi para pembaca yang tertarik. Atas perhatiannya penulis mengucapkan terima kasih. Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta,

Hanif Sobari

## ABSTRAK

Peningkatan volume limbah plastik, khususnya dari botol berbahan *polyethylene terephthalate* (PET), menimbulkan permasalahan lingkungan yang signifikan. Salah satu solusi potensial untuk mengurangi dampak tersebut adalah dengan mendaur ulang botol PET menjadi filamen yang dapat digunakan dalam teknologi *Fused Filament Fabrication* (FFF) pada proses *3D printing*. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan proses daur ulang botol PET menjadi filamen *3D printing* melalui metode pultrusi, serta mengevaluasi pengaruh variasi parameter proses terhadap kualitas filamen yang dihasilkan. Bahan baku yang digunakan berupa pita botol PET berukuran 95 mm yang diproses melalui metode pultrusi dengan variasi suhu 200°C, 210°C, dan 220°C serta kecepatan tarik 0,12 rpm dan 0,36 rpm. Filamen hasil pultrusi kemudian digunakan pada mesin 3D printer dengan pengaturan suhu *nozzle* 255°C, suhu *bed* 80°C, dan kecepatan cetak 30 mm/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi parameter suhu 220°C dan kecepatan tarik 0,12 rpm menghasilkan filamen dengan dimensi yang paling mendekati ukuran ideal dan permukaan yang seragam. Uji lanjutan terhadap filamen menunjukkan potensi yang baik sebagai alternatif bahan baku *3D printing*, ditinjau dari aspek kualitas hasil cetak. Temuan ini membuktikan bahwa limbah plastik PET dapat dimanfaatkan kembali melalui proses daur ulang menjadi filamen *3D printing* yang bernilai guna tinggi, sekaligus mendukung penerapan konsep ekonomi sirkular dan keberlanjutan dalam industri manufaktur aditif.

**Kata kunci:** 3D printing, daur ulang limbah plastik PET

## *ABSTRACT*

The increasing volume of plastic waste, particularly from bottles made of *polyethylene terephthalate* (PET), has caused significant environmental concerns. One potential solution to mitigate this issue is recycling PET bottles into filaments for *Fused Filament Fabrication* (FFF) in 3D printing technology. This study aims to develop a recycling process for converting PET bottles into 3D printing filaments using the pultrusion method and to evaluate the effects of process parameters on the quality of the produced filaments. The raw material consisted of PET bottle strips with a width of 95 mm, processed through pultrusion at temperatures of 200°C, 210°C, and 220°C with pulling speeds of 0.12 rpm and 0.36 rpm. The resulting filaments were printed using a 3D printer with a nozzle temperature of 255°C, a bed temperature of 80°C, and a printing speed of 30 mm/s. The results indicate that the combination of 220°C extrusion temperature and 0.12 rpm pulling speed produced filaments with dimensions closest to the ideal size and a uniform surface finish. Further testing demonstrated that the recycled PET filaments have promising potential as an alternative raw material for 3D printing, both in terms of print quality. These findings support the utilization of PET plastic waste as a sustainable solution in additive manufacturing, contributing to circular economy practices and environmental sustainability.

**Keywords:** 3D printing, recycled PET plastic waste

## DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING.....	2
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	2
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	4
HALAMAN MOTTO.....	5
KATA PENGANTAR.....	6
ABSTRAK.....	8
DAFTAR ISI.....	10
DAFTAR TABEL.....	12
DAFTAR GAMBAR.....	13
DAFTAR NOTASI.....	14
Bab 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
Bab 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Kajian Pustaka.....	6
2.2 Dasar Teori.....	9
2.2.1 Plastik.....	9
2.3 Teknologi Fused Filament Fabrication (FFF).....	10
2.3.1 Metode Pultrusi.....	11
2.3.2 Kualitas Filamen 3D Printing.....	12
Bab 3 METODE PENELITIAN.....	13
3.1 Alur Penelitian.....	13
3.2 Peralatan dan Bahan.....	15
3.3 Kriteria Desain.....	18
3.4 Tahapan Pembuatan Filamen Dalam Metode Pultrusi.....	18
3.4.1 Pembuatan Pita Dari Botol PET.....	18
3.4.2 Pembuatan Filamen Botol Plastik Dengan Metode Pultrusi.....	18
3.5 Desain Menggunakan Software CAD.....	19
3.6 Proses 3D Printing.....	19
Bab 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	20
4.1 Metode Perancangan.....	20

4.2 Proses Pembuatan Filamen 3D Printing.....	22
4.2.1 Pembuatan Pita.....	22
4.2.2 Proses Pultrusi.....	22
4.2.3 Proses Pembuatan Desain, Penentuan Parameter Mesin Pada 3D Print, dan Pembuatan Kode 3D Print.....	23
4.2.4 Proses 3D Printing.....	25
4.3 Proses Pengambilan Data.....	26
4.4 Analisis dan Pembahasan.....	38
4.4.1 Pengaruh Temperatur Nozzle Pada Saat Pultrusi.....	38
4.4.2 Pengaruh Kecepatan Tarik Pada Saat Pultrusi.....	41
Bab 5 PENUTUP.....	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	46
DAFTAR PUSTAKA.....	47
LAMPIRAN 1.....	48

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Laptop.....	16
Tabel 4.1 Parameter 3D Print.....	24
Tabel 4.2 Hasil Pultrusi.....	27
Tabel 4.3 Variasi Parameter Untuk Pengujian Cetak Filamen 3D.....	33

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Data Penjualan Air Mineral.....	6
Gambar 2.2 Bahan PET.....	7
Gambar 2.3 3D Printer.....	8
Gambar 2.4 Extruder.....	8
Gambar 2.5 Direct Extruder.....	10
Gambar 2.6 Bowden Extruder.....	11
Gambar 3.1 Alur Penelitian.....	13
Gambar 3.2 3D Printing Flashforge Creator Pro.....	16
Gambar 3.3 Mesin Pultrusi.....	17
Gambar 3.4 Cutter Pita Botol.....	18
Gambar 4.1 Skema Metode Pultrusi.....	20
Gambar 4.2 Skema Motor Penarik Pada Mesin Pultrusi.....	20
Gambar 4.3 (a) Pita Botol PET (b) cutter.....	22
Gambar 4.4 (a) Proses Pultrusi (b) Filamen 3d Printing.....	23
Gambar 4.5 Proses 3D Printing.....	26
gambar 4.6 Pengukuran Filamen Setelah Pultrusi.....	27
Gambar 4.7 Hasil Terbaik 0.5 mm/s 220°C.....	33
Gambar 4.8 Proses Pultrusi.....	38
Gambar 4.9 Pita Botol PET Meleleh Secara Merata.....	39
Gambar 4.10 Hasil Cetak Nozzle Pultrusi 200°C.....	40
Gambar 4.11 Hasil Cetak Nozzle Pultrusi 210°C.....	40
Gambar 4.12 Hasil Cetak Nozzle Pultrusi 220°C.....	41
Gambar 4.13 Hasil Cetak Kecepatan Tarik 0.5 mm/s.....	43
Gambar 4.14 Hasil Cetak Kecepatan Tarik 1.5 mm/s.....	44
Gambar 4.15 Hasil Yang Gagal Dalam Proses Pengujian.....	44

## DAFTAR NOTASI

PET	= <i>Polyethylene Terephthalate</i>
FFF	= <i>Fused Filament Fabrication</i>
KLH	= Kementerian Lingkungan Hidup
SD CARD	= <i>Secure Digital Card</i>
CAD	= <i>Computer Aided Design</i>
3D	= 3 Dimensi
°C	= Celcius

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sejak ditemukan pada tahun 1907, pemanfaatan plastik dan produk turunannya terus meningkat seiring waktu. Kenaikan ini dipengaruhi oleh pesatnya perkembangan teknologi, pertumbuhan industri, serta bertambahnya jumlah penduduk. Di Indonesia sendiri, kebutuhan akan plastik mengalami tren kenaikan setiap tahunnya, dengan penambahan rata-rata sekitar 200 ton per tahun. Pada tahun 2002, konsumsi plastik tercatat sebesar 1,9 juta ton, kemudian naik menjadi 2,1 juta ton pada 2003, dan terus meningkat menjadi 2,3 juta ton pada tahun 2004. Pada tahun 2010, jumlah tersebut mencapai 2,4 juta ton, dan meningkat lagi menjadi 2,6 juta ton di tahun 2011. Peningkatan konsumsi plastik ini berdampak langsung pada meningkatnya volume sampah plastik (Fahlevi, 2012). Berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup (KLH), rata-rata setiap orang di Indonesia menghasilkan 0,8 kg sampah per hari, sehingga secara nasional jumlahnya mencapai sekitar 189 ribu ton per hari. Dari angka tersebut, sekitar 15% atau sekitar 28,4 ribu ton merupakan limbah plastik (Helindro, 2024).

Plastik memegang peranan penting dalam aktivitas sehari-hari, terutama dimanfaatkan sebagai bahan kemasan untuk makanan dan minuman karena karakteristiknya yang kokoh, ringan, dan mudah digunakan. Plastik berperan penting dalam kehidupan sehari-hari dan sering dimanfaatkan sebagai bahan kemasan makanan dan minuman karena memiliki sifat yang tahan lama, ringan, dan praktis. Salah satu contoh penggunaannya adalah botol plastik yang dapat didaur ulang menjadi biji plastik menggunakan mesin pemanas, baik dengan band heater maupun pemanas induksi. Metode pultrusi digunakan sebagai alternatif produksi karena biayanya lebih murah dibandingkan metode konvensional yang memerlukan pembuatan cetakan di setiap desainnya. Dengan metode pultrusi ini sampah botol plastik dapat digunakan kembali.

Sejalan dengan upaya pemanfaatan kembali material melalui metode pultrusi tersebut, teknologi pencetakan 3D bisa menjadi pilihan dalam memanfaatkan hasil dari proses pultrusi. Hal ini merujuk pada proses pencetakan 3D menggunakan bahan dasar polimer atau plastik berupa filamen yang disusun lapisan per lapisan berupa filamen untuk menghasilkan objek solid 3D. Sampah botol plastik tersebut di daur ulang menjadi filamen yang digunakan sebagai bahan baku pada proses 3D tersebut. Teknologi ini memberikan kemampuan untuk memproduksi komponen atau objek 3D dengan presisi tinggi serta fleksibilitas yang luar biasa. Salah satu bagian penting dalam printer 3D adalah ekstruder, yaitu komponen yang berfungsi untuk menarik, melelehkan, dan menyalurkan filamen selama proses pencetakan. (Anggraini, 2023).

Dengan demikian sampah botol plastik diharapkan bisa diubah menjadi objek 3D yang lebih bermanfaat. Pada penelitian ini sampah botol plastik dievaluasi lebih lanjut untuk memastikan bahwa material hasil daur ulang tersebut memiliki karakteristik yang sesuai untuk proses pencetakan 3D. Evaluasi ini penting dilakukan karena kualitas filamen yang dihasilkan dari limbah plastik sangat bergantung pada sifat material asalnya, sehingga perlu dipastikan bahwa botol PET yang digunakan mampu memenuhi kebutuhan proses ekstrusi dan pencetakan. Dengan mengevaluasi jenis dan karakteristik botol plastik, penelitian ini dapat menentukan material yang paling layak digunakan sebagai filamen, sekaligus memastikan kualitas objek 3D yang dihasilkan tetap optimal.

Keterkaitan antara proses pencetakan 3D dan pemilihan material juga menjadi pertimbangan dalam penelitian ini, sehingga pemilihan 3 jenis botol PET pada penelitian ini didasarkan pada tingginya tingkat penggunaan dan preferensi masyarakat Indonesia terhadap merek-merek tersebut, sehingga dianggap mewakili karakteristik botol PET yang umum beredar di pasaran. (Fauzan, 2025). Jenis plastik PET sering dipilih karena bersifat termoplastik, yang berarti mudah meleleh pada suhu sekitar 240°C sampai 260°C. Sifat ini membuatnya mudah dibentuk ulang serta elastis, sehingga sangat sesuai dijadikan bahan baku untuk mencetak objek menggunakan *printer* 3D Fused Filament Fabrication (Oussai dkk., 2021).

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Bagaimana proses daur ulang botol plastik *polyethylene terephthalate* (PET) menjadi filamen 3D printing dapat dilakukan menggunakan metode pultrusi?
2. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah filamen hasil daur ulang botol PET dari tiga merek terlaris di Indonesia yang diproduksi melalui metode pultrusi layak digunakan sebagai alternatif bahan baku dalam teknologi *Fused Filament Fabrication* (FFF) 3D printing, ditinjau dari aspek kualitas permukaan hasil cetak yang dihasilkan.

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, batasan masalah penulisan ini antara lain:

1. Menggunakan aplikasi *Software Computer Aided Design* (CAD).
2. Mesin 3D printing yang digunakan adalah mesin 3D printing FLASH FORGE dengan model CREATOR PRO.
3. Hanya meneliti bagian visual menggunakan kamera mikroskop.
4. Pembuatan filamen dilakukan menggunakan metode pultrusi dengan evaluasi variasi kecepatan penarikan sebesar 0.5 mm/s dan 1.5 mm/s serta variasi temperatur pultrusi pada 200°C, 210°C, dan 220°C.
5. Diameter filamen yang ditargetkan mengikuti standar filamen komersial, yaitu 1,75 mm ( $\pm 0,05$  mm).
6. Parameter pencetakan 3D dalam penelitian ini dibatasi pada suhu *nozzle* printer sebesar 255°C, suhu bed 80°C, dan kecepatan cetak 30 mm/s.
7. Perancangan objek uji dilakukan menggunakan software *Computer Aided Design* (CAD) tanpa membahas optimasi secara detail.
8. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini terbatas pada limbah botol plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dari tiga merek air minum kemasan dengan ukuran 1500 ml yang umum beredar di Indonesia.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan proses daur ulang botol plastik *polyethylene terephthalate* (PET) menjadi filamen 3D printing menggunakan metode pultrusi.
2. Menganalisis pengaruh variasi suhu proses pultrusi (200°C, 210°C, dan 220°C) dan variasi kecepatan pultrusi (0.5 mm/s dan 1.5 mm/s) terhadap kualitas filamen yang dihasilkan dari limbah botol PET dari 3 merk botol air minum kemasan terpopuler di Indonesia.
3. Mengevaluasi potensi filamen hasil daur ulang botol PET sebagai alternatif bahan baku *Fused Filament Fabrication* (FFF) 3D printing, ditinjau dari aspek kualitas hasil cetak.

## **1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Memberikan alternatif metode pembuatan filamen 3D printing dengan memanfaatkan limbah botol PET melalui proses pultrusi yang lebih efisien dan menghasilkan dimensi filamen yang stabil.
2. Mengurangi jumlah limbah plastik yang memiliki masa degradasi sangat lama dengan cara mendaur ulangnya, khususnya botol PET, yang mencemari lingkungan.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Penyusunan laporan penelitian ini disusun terdiri dari beberapa bab dan sub bab. Laporan penelitian ini dibagi menjadi lima bab, yaitu:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini terdiri dari beberapa sub bab, yaitu menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

### **BAB II KAJIAN PUSTAKA**

Pada bab ini berisikan tinjauan pustaka dan dasar teori yang digunakan dalam penelitian ini. Bab ini digunakan sebagai ilmu dasar dalam proses penelitian.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Alur penelitian dibahas dalam bab ini, mulai dari studi literatur, observasi, perancangan, dan proses pembuatan prototipe mengenai topik penelitian ini.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini hasil dan analisa serta pembahasan penelitian dijelaskan dalam bab 4 ini.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

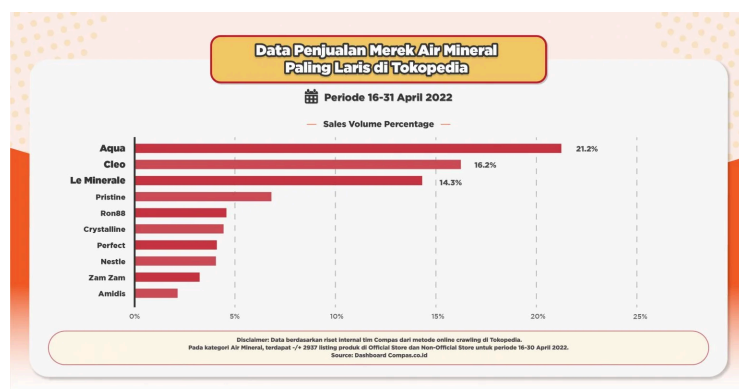
Bagian ini berisikan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran yang perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 1.7 Kajian Pustaka

Plastik merupakan material sintesis yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena sifatnya yang ringan, kuat, dan tahan terhadap korosi. Namun, peningkatan konsumsi plastik secara global telah menimbulkan permasalahan lingkungan yang serius akibat rendahnya tingkat biodegradasi. Di Indonesia, rata-rata setiap individu menghasilkan sekitar 0,8 kg sampah per hari, di mana sekitar 15% diantaranya merupakan limbah plastik (Fahlevi, 2012). Oleh karena itu, diperlukan solusi inovatif untuk mengurangi volume limbah plastik, salah satunya melalui proses daur ulang.



**Gambar 2.1** Data Penjualan Air Mineral (sumber:

<https://compas.co.id/article/merek-air-mineral-paling-laris/>)

*Polyethylene terephthalate* (PET) adalah jenis plastik termoplastik yang umum digunakan pada botol minuman karena sifatnya yang transparan, ringan, serta tahan terhadap tekanan dan suhu tinggi. PET memiliki suhu leleh sekitar 225°C, yang membuatnya mudah dilelehkan dan dibentuk kembali tanpa mengalami degradasi signifikan (Oussai dkk., 2021). Sifat termoplastik ini menjadikan PET potensial untuk diolah menjadi bahan baku *filament* 3D printing.



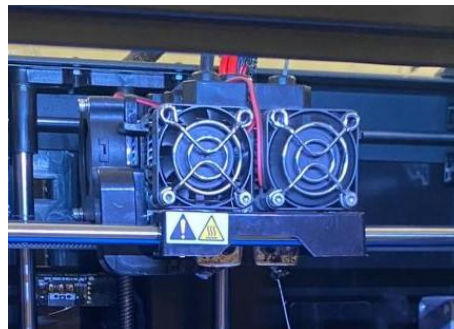
**Gambar 2.2** Bahan PET

Teknologi *Fused Filament Fabrication* (FFF) merupakan salah satu metode *additive manufacturing* yang bekerja dengan cara melelehkan filamen termoplastik dan menumpuknya secara bertahap hingga membentuk objek 3 dimensi. Kualitas hasil cetak bergantung pada kestabilan ekstrusi serta konsistensi diameter filamen yang digunakan. Sejumlah penelitian telah dilakukan terkait penggunaan filamen dari limbah botol plastik, namun masih terdapat berbagai tantangan yang harus dihadapi. Salah satu kendala utama adalah dalam mengoptimalkan parameter proses pencetakan 3D, seperti suhu *nozzle* (*head temperature*), suhu alas cetak (*bed temperature*), dan kecepatan pencetakan (*print speed*) (Cahyono dkk., 2022). Parameter-parameter ini sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil cetak, terutama karena filamen dari botol plastik memiliki sifat yang berbeda dibandingkan dengan filamen komersial. Pengaturan seperti kecepatan *nozzle* dan tingkat kepadatan isi (*infill setting*) juga berperan penting dalam menentukan mutu produk akhir. Penelitian sebelumnya menyarankan penggunaan parameter tertentu untuk pencetakan filamen PET, yakni suhu *nozzle* (*head*) sebesar 256°C, suhu alas cetak (*bed*) 80°C, serta kecepatan cetak 35 mm/s (Tylman & Dzierzek, 2020).



**Gambar 2.3** *3D Printer*

Ekstruder berperan penting dalam proses pencetakan karena berfungsi untuk menarik, melelehkan, dan menyalurkan filamen ke area pencetakan. Berdasarkan mekanisme penggerakannya, ekstruder terbagi menjadi dua tipe, yaitu *direct extruder* dan *Bowden extruder*, masing-masing dengan keunggulan dalam hal kecepatan dan presisi (Chen, 2019).



**Gambar 2.4** *Extruder*

Pultrusi merupakan metode pembentukan filamen yang memanfaatkan gaya tarik konstan untuk menarik material plastik yang telah dilelehkan melalui nozzle berukuran tertentu. Keunggulan metode ini dibandingkan ekstrusi konvensional adalah kemampuannya menghasilkan diameter filamen yang lebih seragam dan permukaan yang lebih halus (Khumaydi, 2019).

Dalam penelitian terdahulu, Tylman dan Dzierzek (2020) menunjukkan bahwa limbah botol PET dapat diolah menjadi filamen 3D printing menggunakan

mesin sederhana berbasis metode pultrusi. Namun, variasi parameter seperti suhu dan kecepatan penarikan masih perlu dioptimalkan agar diperoleh kualitas filamen yang memenuhi standar komersial (Tylman & Dzierzek, 2020).

Parameter proses seperti suhu dan kecepatan penarikan sangat berpengaruh terhadap hasil akhir filamen. Suhu yang terlalu rendah menyebabkan material tidak meleleh sempurna, menghasilkan permukaan kasar dan diameter tidak stabil. Sebaliknya, suhu yang terlalu tinggi dapat menimbulkan degradasi termal pada material (Erokhin dkk., 2023). Kecepatan penarikan yang optimal diperlukan untuk menjaga keseimbangan antara aliran material dan pendinginan, sehingga filamen memiliki diameter mendekati 1,75 mm serta permukaan yang rata dan halus.

## **1.8 Dasar Teori**

Bagian dasar teori membahas sejumlah teori yang menjadi acuan dalam penelitian ini.

### **1.8.1 Plastik**

Plastik merupakan polimer sintesis yang tersusun dari rantai panjang monomer organik seperti karbon dan hidrogen. Sejak pertama kali ditemukan pada tahun 1907, plastik telah menjadi material penting dalam berbagai bidang industri karena sifatnya yang ringan, kuat, tahan terhadap korosi, dan mudah dibentuk (Fahlevi, 2012).

*Polyethylene terephthalate* (PET) termasuk dalam golongan plastik termoplastik yang banyak digunakan untuk pembuatan botol minuman dan kemasan makanan karena sifatnya yang transparan, kuat, dan tahan terhadap suhu tinggi. PET memiliki titik leleh sekitar 225°C dan dapat dilelehkan berulang kali tanpa mengalami kerusakan struktur kimia yang signifikan. Karakteristik tersebut menjadikan PET sangat cocok sebagai bahan baku untuk proses *additive manufacturing* seperti *Fused Filament Fabrication* (FFF) 3D printing. Selain itu, PET memiliki densitas rendah dan kestabilan dimensi yang baik, sehingga dapat

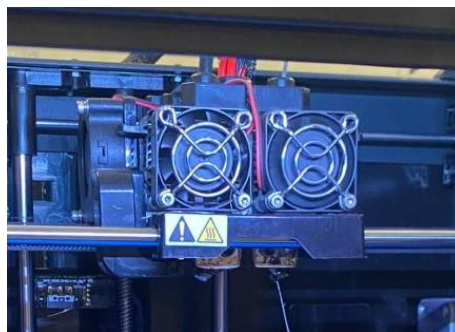
menghasilkan filamen yang kuat dan ringan ketika didaur ulang (Oussai dkk., 2021).

## 1.9 Teknologi Fused Filament Fabrication (FFF)

Teknologi *Fused Filament Fabrication* (FFF) adalah salah satu metode dalam *additive manufacturing* yang bekerja dengan cara melelehkan filamen termoplastik dan menumpuk lapisan demi lapisan untuk membentuk objek tiga dimensi.

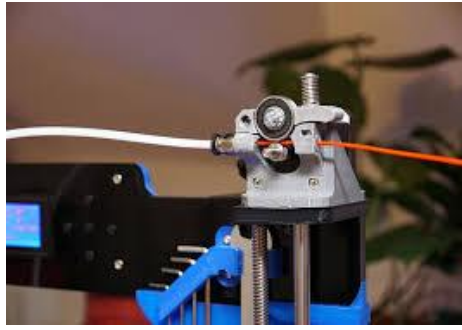
Pada sistem ini, filamen padat dimasukkan ke dalam ekstruder, kemudian dilelehkan di *nozzle* dengan suhu tertentu, lalu dideposisikan di atas *bed* sesuai jalur yang ditentukan oleh model digital. Ekstruder pada printer 3D terbagi menjadi dua jenis berdasarkan sistem penggerakannya, yaitu:

1. *Direct Extruder*, di mana filamen langsung dialirkan dari bagian *Cold End* ke *Hot End*. Keunggulan utama dari tipe ini adalah jarak yang sangat pendek antara mekanisme penggerak dengan *Hot End*, sehingga proses ekstrusi dan retraksi menjadi lebih cepat dan responsif.



**Gambar 2.5** *Direct Extruder*

2. *Bowden Extruder*, yaitu tipe *ekstruder* yang memisahkan *Hot End* dan *Cold End*, dihubungkan oleh sebuah tabung panjang. Dengan konfigurasi ini, *printer* 3D mampu mencetak dengan kecepatan, ketelitian, dan presisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem *Direct Extruder*. (Chen, 2019).



**Gambar 2.6** *Bowden Extruder*

Parameter utama yang mempengaruhi hasil cetak meliputi suhu *nozzle*, suhu *bed*, dan kecepatan pencetakan. Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi material, sedangkan suhu terlalu rendah menyebabkan material tidak mengalir sempurna. Oleh karena itu, keseimbangan antara suhu dan kecepatan menjadi faktor penting dalam menjaga kualitas hasil cetakan (Pristiansyah dkk., 2025).

### **1.9.1 Metode Pultrusi**

Pultrusi adalah metode pembentukan filamen dengan cara menarik material termoplastik yang telah dilelehkan melalui cetakan (*nozzle*) dengan kecepatan konstan. Proses ini dilakukan secara berkelanjutan sehingga menghasilkan filamen dengan diameter yang seragam dan permukaan yang halus.

Keunggulan metode pultrusi dibandingkan metode pelelehan konvensional terletak pada efisiensi biaya, karena pembuatan cetakan pada metode pelelehan konvensional membutuhkan biaya besar setiap satu desain memerlukan satu cetakan (*mold*). Sementara itu, pada metode pultrusi, filamen dapat dibentuk sesuai kebutuhan hanya dengan menggunakan mesin 3D printer, tanpa memerlukan cetakan khusus.

Parameter proses utama dalam metode pultrusi adalah suhu nozzle dan kecepatan penarikan filamen.

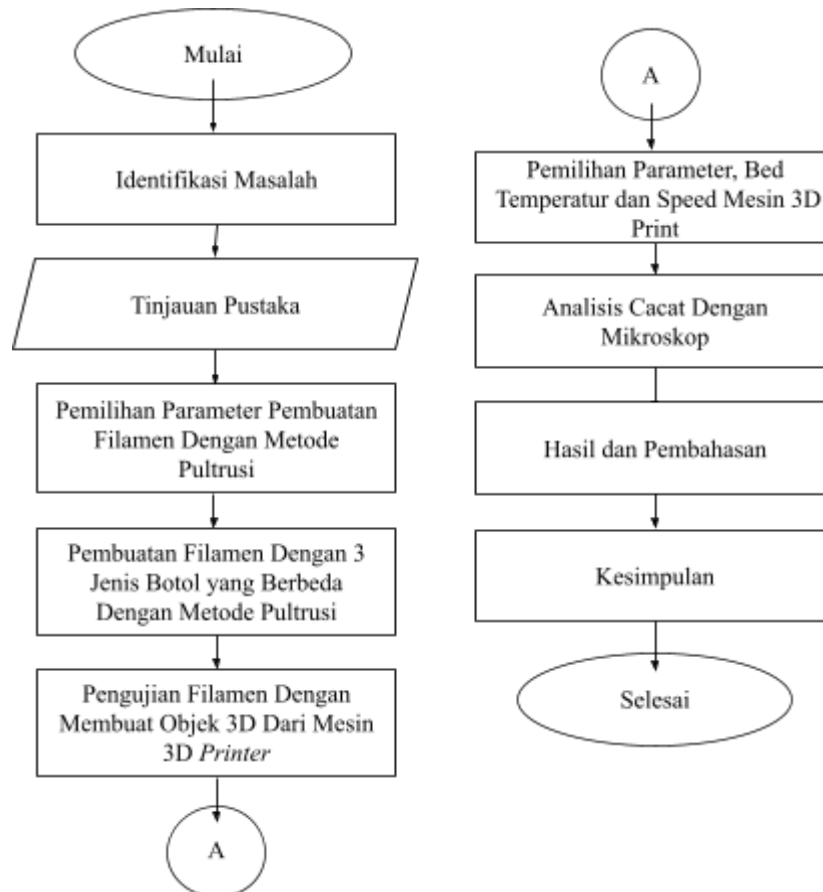
1. Suhu *Nozzle*: Menentukan tingkat pelelehan material PET. Suhu yang terlalu rendah dapat menyebabkan material tidak meleleh sempurna, menghasilkan permukaan kasar dan diameter tidak seragam. Sebaliknya, suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi termal dan perubahan warna pada filamen.
2. Kecepatan Tarik: Mempengaruhi waktu pendinginan material setelah keluar dari *nozzle*. Kecepatan yang terlalu tinggi dapat menghasilkan filamen dengan diameter kecil dan mudah putus, sementara kecepatan yang terlalu rendah dapat menyebabkan filamen terlalu tebal atau cacat pada permukaan.

### **1.9.2 Kualitas Filamen 3D Printing**

Kualitas filamen ditentukan oleh beberapa faktor, seperti stabilitas diameter, kekasaran permukaan, kekuatan mekanik, dan homogenitas material. Filamen yang memiliki diameter mendekati standar (1,75 mm) dan permukaan halus akan menghasilkan aliran material yang stabil pada ekstruder, sehingga menghasilkan hasil cetakan yang presisi. Selain itu, penelitian menunjukkan bahwa filamen hasil daur ulang PET dapat mendekati performa filamen komersial jika parameter proses dioptimalkan dengan benar.

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 1.10 Alur Penelitian



**Gambar 3.1** Alur Penelitian

Pada tahap awal penelitian, permasalahan utama yang diidentifikasi adalah belum optimalnya pemanfaatan limbah botol *polyethylene terephthalate* (PET) sebagai filamen 3D *printing*, khususnya terkait kestabilan diameter filamen dan kualitas hasil cetak yang dihasilkan. Studi literatur menunjukkan bahwa kualitas filamen sangat dipengaruhi oleh parameter proses pembuatannya, terutama suhu pemanasan dan kecepatan penarikan. Namun demikian, kombinasi parameter yang optimal untuk filamen berbahan botol PET bekas masih belum ditentukan secara pasti.

Selain itu, terdapat permasalahan lain yang berkaitan dengan variasi karakteristik botol PET bekas dari merek yang berbeda. Perbedaan ketebalan dan sifat material botol PET diduga dapat memengaruhi proses pelelehan dan pembentukan filamen selama proses daur ulang. Oleh karena itu, evaluasi terhadap bahan baku yang digunakan menjadi langkah penting untuk memastikan proses pembentukan filamen dapat berlangsung secara stabil dan konsisten.

*Polyethylene terephthalate* (PET) merupakan salah satu jenis plastik termoplastik yang banyak digunakan sebagai bahan kemasan minuman karena sifatnya yang ringan, transparan, kuat, dan tahan terhadap tekanan. PET memiliki titik leleh pada kisaran 225°C–260°C, sehingga memungkinkan material ini untuk dilelehkan kembali dan dibentuk ulang tanpa mengalami perubahan struktur kimia yang signifikan. Sifat termoplastik tersebut menjadikan botol PET bekas berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku filamen 3D printing, namun tetap memerlukan pengendalian parameter proses yang tepat.

Filamen yang dihasilkan dari botol PET bekas selanjutnya diuji menggunakan teknologi *Fused Filament Fabrication* (FFF). Teknologi FFF merupakan salah satu metode additive manufacturing yang bekerja dengan cara melelehkan filamen termoplastik dan menyusunnya secara bertahap lapis demi lapis untuk membentuk objek tiga dimensi. Kualitas hasil cetak pada proses FFF sangat dipengaruhi oleh konsistensi diameter filamen, kestabilan aliran material selama ekstrusi, serta kesesuaian sifat filamen dengan parameter pencetakan seperti suhu *nozzle* dan kecepatan cetak.

Dengan demikian, kajian mengenai karakteristik material PET dan prinsip kerja teknologi FFF menjadi dasar penting dalam alur penelitian ini, khususnya pada tahap pemilihan dan persiapan bahan baku hingga tahap pengujian filamen pada mesin 3D printer. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa filamen PET hasil daur ulang mampu memenuhi kebutuhan proses pencetakan dan menghasilkan objek cetak dengan kualitas yang baik.

Berdasarkan landasan teori tersebut, tahapan penelitian selanjutnya difokuskan pada penerapan prinsip-prinsip yang telah dikaji ke dalam proses

eksperimental secara nyata. Oleh karena itu, penelitian ini diawali dengan proses persiapan bahan baku sebagai langkah awal untuk memastikan material PET yang digunakan sesuai dengan karakteristik yang dibutuhkan dalam proses pembuatan filamen.

Pada tahap persiapan bahan baku, penelitian ini diawali dengan penggunaan botol PET bekas yang terlebih dahulu dibersihkan untuk menghilangkan kotoran, dilepaskan labelnya, serta dipotong pada bagian dasar botol. Selanjutnya, botol PET yang telah bersih tersebut dipotong menjadi pita plastik dengan lebar sekitar 9.5 mm menggunakan alat pemotong khusus, sehingga diperoleh bahan baku yang siap diproses pada tahap pembuatan filamen berikutnya.

Pita plastik PET yang telah dipersiapkan kemudian dimasukkan ke dalam blok pemanas (*nozzle*) dan dipanaskan pada variasi suhu 200°C, 210°C, dan 220°C hingga material mengalami proses pelelehan. Lelehan plastik selanjutnya dikeluarkan melalui *nozzle* dengan diameter 1,75 mm sehingga terbentuk filamen PET. Filamen yang keluar dari *nozzle* kemudian ditarik menggunakan motor penarik dengan variasi kecepatan 0.5 mm/s dan 1.5 mm/s untuk memperoleh ukuran filamen yang seragam, kemudian digulung menjadi roll filamen PET yang siap digunakan pada tahap pengujian selanjutnya.

Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah pengujian filamen, yaitu dengan menggunakan filamen hasil gulungan sebagai bahan baku pada mesin 3D *printer* untuk mengevaluasi kualitas hasil cetak. Evaluasi dilakukan melalui pengamatan menggunakan mikroskop guna mengidentifikasi karakteristik permukaan dan potensi cacat hasil cetak. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh kondisi terbaik pada filamen yang berasal dari botol merk LM dengan kecepatan penarikan pultrusi sebesar 0.5 mm/s dan suhu *nozzle* pada proses pultrusi sebesar 220°C.

## **1.11 Peralatan dan Bahan**

### *1. Laptop*

*Laptop* untuk keperluan desain merupakan perangkat komputer portabel dengan spesifikasi kelas menengah hingga tinggi serta dilengkapi fitur khusus yang mendukung aplikasi CAD untuk desain objek 3D. Hal ini ditunjukkan dalam tabel 3.1 yang memuat rincian spesifikasinya.

**Tabel 3.1** Spesifikasi *Laptop*

<i>Operation System</i>	Windows 11 Pro
<i>Processor</i>	intel(R) CORE(TM) i7-7700HQ
SSD/ HDD	128GB/ 1TB
RAM	24GB
Grafis	NVIDIA(R) GeForce GTX 1050 TI

## 2. 3D *Printing* Flashforge

3D *Printing* Flashforge dengan model Creator pro berfungsi untuk mencetak produk dengan metode *printing*.



**Gambar 3.2** 3D *Printing* Flashforge Creator Pro

### 3. Micro SD

Micro SD (*Micro Secure Digital card*) adalah sebagai media penyimpanan eksternal yang digunakan pada berbagai perangkat elektronik seperti *smartphone*, kamera, *tablet*, *drone*, *dashcam*, dan *laptop*.

### 4. Mesin Pultrusi

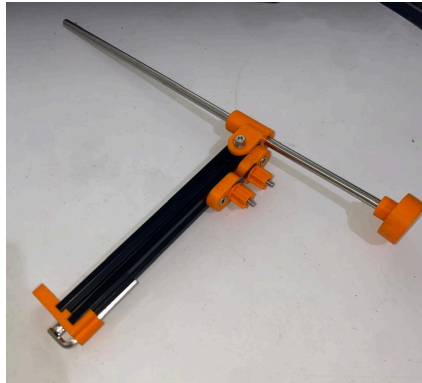
Fungsi mesin pultrusi dalam konteks mengubah pita botol PET (*polyethylene terephthalate*) menjadi filamen 3D *printing* adalah untuk membentuk dan menstabilkan material plastik hasil daur ulang agar memiliki bentuk dan kualitas yang sesuai dengan standar filamen printer 3D.



**Gambar 3.3** Mesin Pultrusi

### 5. Cutter Pita Botol

Fungsi *cutter* dalam proses pembuatan pita botol PET (dari botol plastik bekas) sangat penting sebagai tahap awal sebelum material masuk ke mesin pultrusi. *Cutter* berfungsi untuk mengubah bentuk botol PET menjadi pita panjang dan seragam yang bisa dilelehkan atau ditarik menjadi filamen 3D *printer*.



**Gambar 3.4** Cutter Pita Botol

### **1.12 Kriteria Desain**

1. Ukuran standar filamen komersial (diameter 1.75mm ( $\pm 0.05$ mm)).
2. Dapat digunakan untuk membuat objek 3D dalam 3D *printer*.
3. Filamen tidak mudah patah ketika digulung atau dimasukkan ke dalam ekstruder printer.

### **1.13 Tahapan Pembuatan Filamen Dalam Metode Pultrusi**

Metode pultrusi pada penelitian ini menggunakan dari dua proses, yaitu pembuatan pita dari botol PET dan pembuatan filamen botol plastik menggunakan metode pultrusi.

#### **1.13.1 Pembuatan Pita Dari Botol PET**

Tahapan ini bertujuan untuk mengubah botol plastik bekas berbahan *polyethylene terephthalate* (PET) menjadi bentuk pita panjang (*strip*) dengan lebar sekitar 9–10 mm yang akan digunakan sebagai bahan baku utama dalam proses pembuatan filamen melalui metode pultrusi.

#### **1.13.2 Pembuatan Filamen Botol Plastik Dengan Metode Pultrusi**

Proses ini bertujuan untuk mengubah pita botol plastik PET hasil daur ulang menjadi filamen 3D printing berdiameter 1,75 mm menggunakan metode

pultrusi, dengan pengujian variasi suhu dan kecepatan penarikan guna memperoleh kualitas filamen terbaik.

#### **1.14 Desain Menggunakan *Software* CAD**

*Software Computer Aided Design* (CAD) berfungsi untuk membuat dan merancang gambar atau model benda di komputer, baik dalam bentuk 2D maupun 3D, sehingga kita dapat melihat bentuk dan ukuran benda sebelum dibuat, serta memudahkan dalam mengubah desain dan menyiapkan file untuk proses pencetakan 3D atau produksi. *Software* CAD banyak digunakan dalam bidang teknik dan manufaktur.

#### **1.15 Proses 3D *Printing***

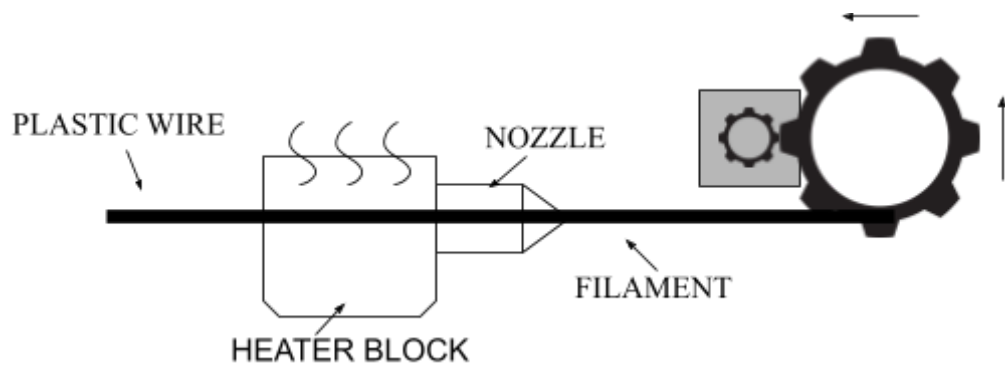
Mesin 3D printer merupakan perangkat utama dalam teknologi *Additive Manufacturing* (AM) yang bekerja dengan prinsip menumpuk lapisan material secara bertahap untuk membentuk objek tiga dimensi sesuai model digital. Dalam konteks penelitian ini, mesin 3D printer berfungsi untuk menguji performa filamen hasil daur ulang botol plastik PET melalui proses pencetakan objek uji berbasis teknologi *Fused Filament Fabrication* (FFF).

## BAB 4

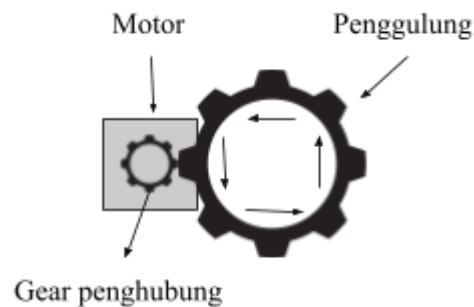
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1.16 Metode Perancangan

Metode pultrusi dipilih dalam proses pembuatan filamen karena mampu menghasilkan diameter filamen yang lebih seragam dibandingkan dengan metode ekstrusi. Prinsip kerjanya melibatkan penggunaan *nozzle* khusus yang telah dilubangi sesuai kebutuhan pembentukan filamen dengan diameter tetap, yakni 1,75 mm. Dalam proses ini, tali plastik dilewatkan melalui blok pemanas untuk diplastisasi, lalu didorong melalui nozzle agar terbentuk menjadi filamen (Tylman & Dzierzek, 2020).



**Gambar 4.1** Skema Metode Pultrusi



**Gambar 4.2** Skema Motor Penarik Pada Mesin Pultrusi

Keunggulan teknis ini menunjukkan bahwa kontrol yang terjadi pada tahap pembentukan filamen melalui pultrusi tidak hanya berfokus pada proses

mekanis dan termal semata, tetapi juga berkaitan langsung dengan kualitas dan performa filamen pada tahap penggunaannya. Dengan memastikan bahwa aliran material melewati *nozzle* secara stabil dan teratur, metode ini memberikan dasar yang kuat bagi tercapainya karakteristik filamen yang konsisten, sehingga hasil produksinya dapat memenuhi kebutuhan operasional pada proses pencetakan 3D.

Dengan kemampuan metode pultrusi dalam menghasilkan filamen berdiameter konsisten, proses ini menjadi langkah penting untuk memastikan bahwa material yang diproduksi dapat berfungsi optimal saat digunakan pada *printer* 3D. Konsistensi diameter sangat berpengaruh terhadap kelancaran proses pencetakan, karena *printer* 3D membutuhkan filamen yang stabil agar ekstruder dapat bekerja secara presisi. Oleh karena itu, kualitas filamen hasil pultrusi harus memenuhi standar dimensi dan plastisitas tertentu sebelum dapat digunakan sebagai bahan pencetak objek 3D.

Dengan terjaminnya kualitas dan konsistensi filamen melalui proses pultrusi, material yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan fungsional pada sistem pencetakan 3D. Hal ini menjadi penting karena karakteristik fisik filamen seperti diameter, kekuatan, dan kelenturan akan menentukan kompatibilitasnya dengan berbagai jenis *printer* serta mempengaruhi hasil cetak akhir. Oleh sebab itu, filamen yang telah memenuhi standar dari proses produksi tidak hanya siap digunakan, tetapi juga mampu mendukung performa *printer* 3D dalam membentuk objek secara akurat sesuai desain digital.

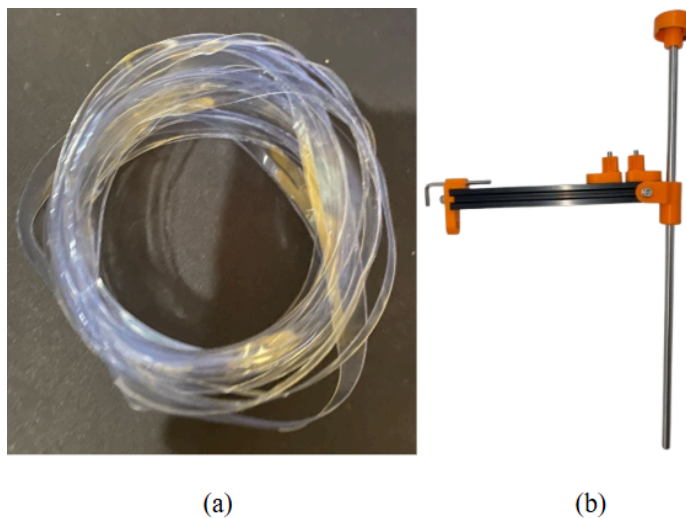
Filamen pada *printer* 3D berfungsi untuk mencetak objek berdasarkan desain yang dibuat menggunakan perangkat lunak komputer. Umumnya, filamen memiliki diameter 1,75 mm, meskipun tersedia juga ukuran 3 mm. Berbagai jenis bahan dapat digunakan sebagai filamen, terutama jenis termoplastik yang memiliki sifat kuat, tahan lama, dan mudah dibentuk. Kualitas dari filamen bergantung pada seberapa kuat dan baik bentuk hasil cetakannya. Saat ini, jenis filamen yang paling banyak digunakan adalah yang terbuat dari bahan *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) dan *Polylactide* (PLA) (Tondi, 2019).

## 1.17 Proses Pembuatan Filamen 3D *Printing*

Berikut ini adalah tahapan dalam proses pembuatan filamen 3D printing sebagai berikut:

### 1.17.1 Pembuatan Pita

Pembuatan pita menggunakan bahan dasar botol *Polyethylene Terephthalate* (PET) dilakukan secara manual dengan memanfaatkan cutter yang telah dirancang secara khusus agar proses pemotongannya lebih stabil dan terkontrol. Desain *cutter* ini memungkinkan pengguna memperoleh potongan pita PET dengan lebar yang konsisten, sehingga kualitas pita yang dihasilkan dapat terjaga sebelum memasuki tahap berikutnya dalam proses pembuatan filamen. Selain itu, penggunaan alat ini juga membantu meningkatkan efisiensi kerja, mengurangi kesalahan pemotongan, serta memastikan bahwa pita PET yang dihasilkan memiliki ukuran sesuai kebutuhan proses produksi filamen 3D printing.



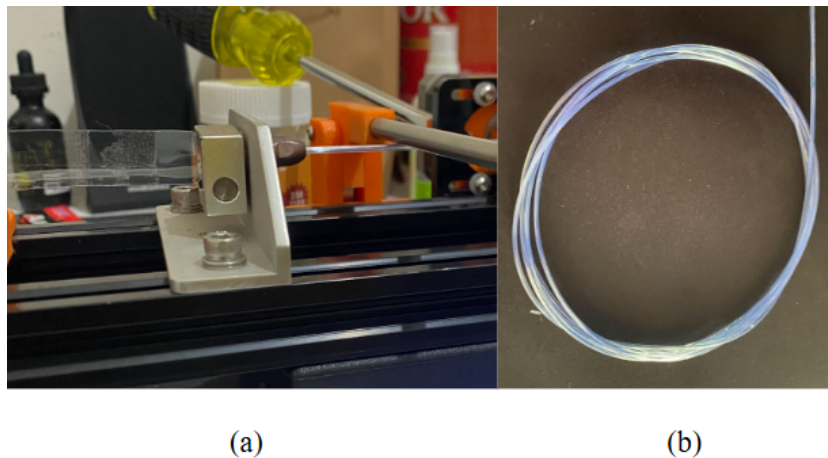
**Gambar 4.3** (a) Pita Botol PET (b) *cutter*

### 1.17.2 Proses Pultrusi

Setelah botol plastik berhasil dipotong menjadi pita, tahap selanjutnya adalah proses pultrusi, yaitu mengubah pita PET tersebut menjadi filamen yang siap digunakan untuk 3D printing. Pada tahap ini, pita PET dimasukkan ke dalam

*nozzle* mesin pultrusi, di mana material akan melewati daerah pemanasan sehingga mengalami proses peleburan secara terkontrol. Setelah dipanaskan, pita yang mulai melunak akan ditarik secara kontinu oleh sistem penggulung yang digerakkan oleh motor, sehingga menghasilkan filamen dengan bentuk dan diameter yang seragam.

Untuk mempelajari pengaruh dari *nozzle* disetel pada beberapa variasi temperatur, yaitu 200°C, 210°C, dan 220°C, yang berfungsi untuk mengetahui suhu terbaik dalam meleburkan material PET tanpa menyebabkan degradasi. Selain itu, kecepatan penarikan filamen juga diatur pada dua nilai berbeda, yaitu 0.5 mm/s dan 0.15 mm/s, karena kecepatan tarik mempengaruhi konsistensi diameter serta kekuatan filamen yang dihasilkan. Kombinasi pengaturan suhu dan kecepatan tarik ini menjadi parameter penting dalam menentukan karakteristik akhir filamen PET hasil proses pultrusi.



**Gambar 4.4** (a) Proses Pultrusi (b) Filamen 3d *Printing*

### **1.17.3 Proses Pembuatan Desain, Penentuan Parameter Mesin Pada 3D *Print*, dan Pembuatan Kode 3D *Print***

Setelah filamen siap, dilakukan proses perancangan objek uji melalui *software Computer Aided Design (CAD)*. *Software* ini digunakan karena kemampuannya dalam menghasilkan desain 3D yang detail, sehingga

memudahkan peneliti atau pengguna dalam menentukan bentuk, ukuran, serta struktur objek yang ingin diuji. Model digital yang dihasilkan kemudian akan menjadi acuan untuk proses pencetakan pada tahap selanjutnya.

Model yang telah dirancang kemudian disimpan dengan *format file Standard Tessellation Language (.STL)* kemudian masuk ke tahap *slicing* menggunakan software *FlashPrint*. Tahap *slicing* berfungsi untuk mengonversi model 3D menjadi lapisan-lapisan tipis (*layer*) yang dapat dibaca dan dijalankan oleh mesin printer 3D. Melalui *software FlashPrint*, dilakukan pengaturan parameter pencetakan yang disesuaikan dengan karakteristik filamen PET hasil pultrusi, yaitu suhu *nozzle* sebesar 255°C, suhu bed 80°C, kecepatan cetak 40 mm/s, ketebalan lapisan 0,18 mm, serta diameter *nozzle* 0,4 mm. Pengaturan parameter yang tepat ini sangat berpengaruh terhadap kualitas akhir objek cetak, terutama dalam hal ketepatan dimensi, kehalusan permukaan, dan kestabilan proses pencetakan.

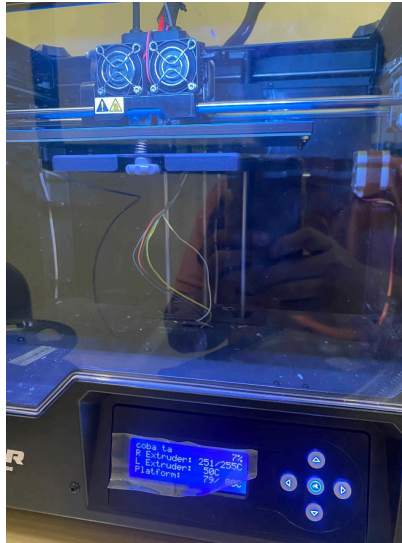
**Tabel 4.1** Parameter 3D Print

No	Parameter	Satuan
1	Shell Count	2
2	Shell Thickness	0.80 mm
3	Overlap Perimeter	30%
4	Exterior Maximum Speed	40 mm/s
5	Exterior Speed	50%
6	Visible Interior Max Speed	200 mm/s
7	Visible Interior Speed	70%
8	Invisible Interior Max Speed	200 mm/s
9	Invisible Interior Speed	100%
10	Layer Height Mode	Fixed Layer Height
11	Layer Height	0.18 mm

No	Parameter	Satuan ,
12	First Layer Height	0.27 mm
13	Base Print Speed	30 mm/s
14	Travel Speed	60 mm/s
15	Minimum Speed	5 mm/s
16	First Layer Maximum Speed	10 mm/s
17	First Layer Maximum Travel Speed	50 mm/s
18	Nozzle Size	0.4 mm
19	Extruder Temperature	255°C
20	Platform Temperature	80°C

#### **1.17.4 Proses 3D Printing**

Pada tahap ini, filamen PET yang dihasilkan melalui proses pultrusi dengan diameter sesuai langsung diuji menggunakan mesin 3D printing berdasarkan program yang telah dibuat sebelumnya untuk mengevaluasi kemampuan material Polyethylene Terephthalate (PET) dalam mencair dan mengalir secara stabil selama proses pencetakan serta menilai kualitas hasil cetak meliputi kekuatan, kekasaran permukaan, dan ketepatan bentuk dengan menggunakan spesimen bergeometri sederhana, simetris, tanpa sudut tajam dan berdinding seragam guna meminimalkan pengaruh desain sehingga hasil pengujian merepresentasikan kualitas filamen dan parameter proses yang digunakan.



**Gambar 4.5** Proses 3D *Printing*

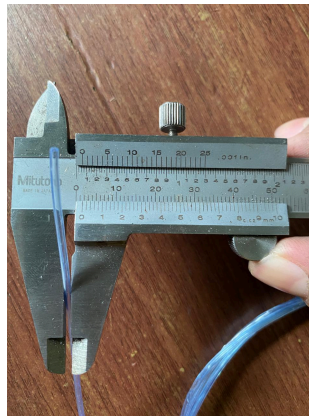
### **1.18 Proses Pengambilan Data**

Data utama yang dikumpulkan dalam penelitian ini terdiri dari dua parameter penting, yaitu temperatur *nozzle* dan kecepatan penarikan filamen selama proses pultrusi. Kedua variabel ini dipilih karena memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kualitas filamen PET yang dihasilkan, baik dari segi dimensi maupun sifat permukaan. Temperatur *nozzle* menentukan tingkat pelelehan pita PET, sementara kecepatan tarik menentukan stabilitas diameter filamen saat ditarik keluar dari *nozzle*. Ketepatan dalam mengatur kedua parameter ini sangat penting untuk menjaga konsistensi bentuk filamen, yang pada akhirnya akan berdampak langsung terhadap presisi proses pencetakan serta kualitas visual objek 3D yang dihasilkan.

Dengan memahami pentingnya pengaruh kedua parameter tersebut, proses pengumpulan data tidak hanya terfokus pada kondisi proses pultrusi saja, tetapi juga mempertimbangkan bagaimana pengaturan temperatur dan kecepatan penarikan akan mempengaruhi tahap penggunaannya pada *printer* 3D. Pengendalian variabel proses ini menjadi dasar dalam menilai kesiapan filamen sebelum digunakan untuk pencetakan. Setiap perubahan yang terjadi dalam proses pultrusi, baik dalam hal suhu maupun kecepatan tarik, dihubungkan secara


langsung dengan performa filamen pada tahap praktis sehingga gambaran yang diperoleh lebih komprehensif.

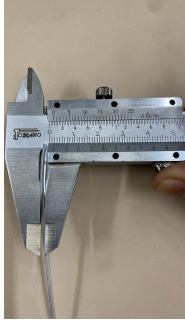
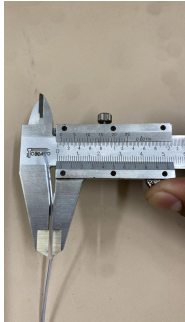


Setelah data terkait pengaruh temperatur *nozzle* dan kecepatan penarikan filamen dianalisis, filamen yang dihasilkan kemudian diuji melalui proses pencetakan 3D untuk menilai performanya secara langsung. Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa parameter proses pultrusi yang telah ditetapkan tidak hanya menghasilkan filamen yang stabil secara dimensional, namun juga mampu memberikan performa cetak yang optimal. Dengan kata lain, tahap ini menjadi validasi utama apakah filamen PET hasil pultrusi layak digunakan dalam aplikasi nyata dan mampu memenuhi tuntutan kinerja printer 3D.

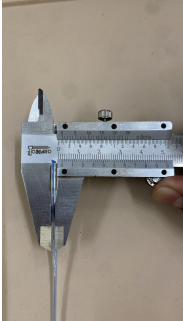


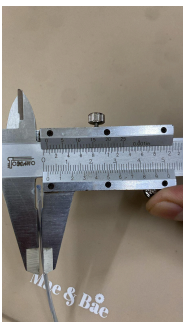


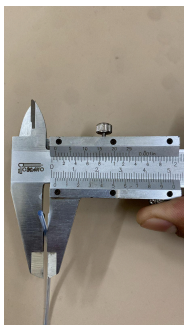

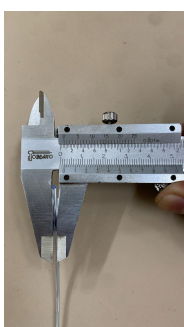
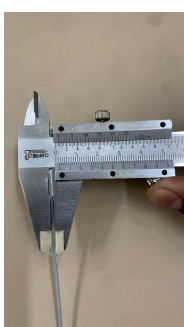
**gambar 4.6** Pengukuran Filamen Setelah Pultrusi

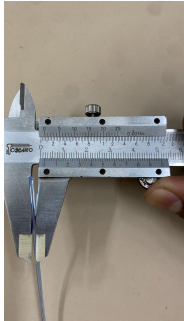
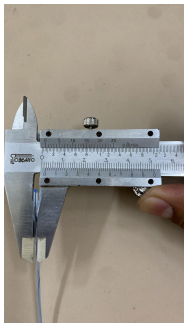
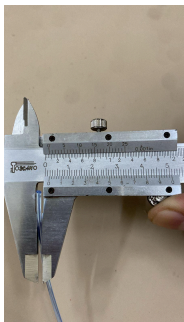
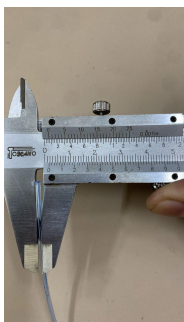
**Tabel 4.2** Hasil Pultrusi


Spesimen	Speed (mm/s)	Temperatur (°C)	Hasil Pultrusi	Keterangan
Spesimen (LM) 1	0.5 mm/s	200		1.76 mm

Spesimen	Speed (mm/s)	Temperatur (°C)	Hasil Pultrusi	Keterangan
Spesimen (LM) 2	0.5 mm/s	210		1.76 mm
Spesimen (LM) 3	0.5 mm/s	220		1.76 mm
Spesimen (LM) 4	1.5 mm/s	200		1.74 mm
Spesimen (LM) 5	1.5 mm/s	210		1.74 mm

Spesimen	Speed (mm/s)	Temperatur (°C)	Hasil Pultrusi	Keterangan
Spesimen (LM) 6	1.5 mm/s	220		1.76 mm
Spesimen (PL) 1	0.5 mm/s	200		1.78 mm
Spesimen (PL) 2	0.5 mm/s	210		1.76 mm
Spesimen (PL) 3	0.5 mm/s	220		1.78 mm

Spesimen	Speed (mm/s)	Temperatur (°C)	Hasil Pultrusi	Keterangan
Spesimen (PL) 4	1.5 mm/s	200		1.76 mm
Spesimen (PL) 5	1.5 mm/s	210		1.74 mm
Spesimen (PL) 6	1.5 mm/s	220		1.72 mm
Spesimen (AQ) 1	0.5 mm/s	200		1.8 mm

Spesimen	Speed (mm/s)	Temperatur (°C)	Hasil Pultrusi	Keterangan
Spesimen (AQ) 2	0.5 mm/s	210		1.76 mm
Spesimen (AQ) 3	0.5 mm/s	220		1.76 mm
Spesimen (AQ) 4	1.5 mm/s	200		1.74 mm
Spesimen (AQ) 5	1.5 mm/s	210		1.74 mm

Spesimen	Speed (mm/s)	Temperatur (°C)	Hasil Pultrusi	Keterangan
Spesimen (AQ) 6	1.5 mm/s	220		1.76 mm

Pelaksanaan pengujian cetak menjadi langkah lanjutan yang sangat penting karena hasil analisis parameter pultrusi saja belum cukup menggambarkan perilaku filamen saat diaplikasikan. Penggunaan filamen dalam proses pencetakan 3D memberikan gambaran langsung mengenai kemampuan material dalam mengalir melalui *nozzle printer*, menempel pada lapisan sebelumnya, serta mempertahankan bentuk sesuai desain. Dengan demikian, evaluasi ini berperan besar dalam memastikan hubungan antara parameter proses pultrusi dan kualitas hasil cetak yang dihasilkan.



Pada tahap pengujian, objek uji berbentuk silinder seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.5 dipilih sebagai bentuk standar untuk mengevaluasi performa filamen. Filamen PET hasil pultrusi kemudian digunakan sebagai bahan utama dalam proses pencetakan objek tersebut. Selama pengujian, beberapa parameter printer 3D turut divariasikan untuk memperoleh kombinasi yang menghasilkan hasil cetak paling optimal. Berdasarkan serangkaian percobaan yang dilakukan, diperoleh temuan bahwa kombinasi temperatur nozzle sebesar 220°C dengan kecepatan penarikan filamen 0.5 mm/s menghasilkan kualitas cetak yang paling memuaskan. Hasil ini menunjukkan bahwa parameter tersebut mampu menghasilkan filamen yang tidak hanya stabil secara dimensi, tetapi juga memiliki kemampuan cetak yang baik ketika diaplikasikan pada proses 3D printing.

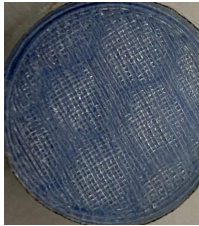

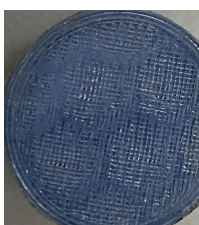
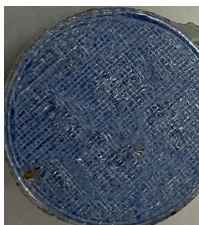



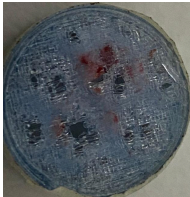


**Gambar 4.7** Hasil Terbaik 0.5 mm/s 220°C




Pada tabel 4.3 ditunjukkan variasi parameter untuk pengujian cetak filamen 3D printer botol plastik PET.

**Tabel 4.3** Variasi Parameter Untuk Pengujian Cetak Filamen 3D

Spesimen	Speed (mm/s)	Temperatur (°C)	Pembuatan Objek 3D dengan 3D Printer	Keterangan
Spesimen (LM) 1	0.5 mm/s	200		permukaan halus, tidak bergelombang, ikatan bagus
Nomor	Speed (Rpm)	Temperatur (°C)	Pembuatan Objek 3D dengan 3D Printer	Keterangan
Spesimen (LM) 2	0.5 mm/s	210		permukaan halus, tidak bergelombang, ikatan bagus

Spesimen (LM) 3	0.5 mm/s	220		permukaan paling halus, tidak bergelombang, ikatan bagus
Spesimen (LM) 4	1.5 mm/s	200		permukaan halus, tidak bergelombang, ikatan bagus
Spesimen (LM) 5	1.5 mm/s	210		permukaan halus, tidak bergelombang, ikatan bagus
Spesimen (LM) 6	1.5 mm/s	220		permukaan halus, tidak bergelombang, ikatan bagus
Nomor	Speed (Rpm)	Temperatur (°C)	Pembuatan Objek 3D dengan 3D Printer	Keterangan
Spesimen (PL) 1	1.5 mm/s	200		permukaan bolong-bolong, permukaan kasar dimensi tetap, ikatan kurang rapat

Spesimen (PL) 2	0.5 mm/s	210		permukaan bolong-bolong, permukaan kasar dimensi tetap, ikatan kurang rapat
Spesimen (PL) 3	0.5 mm/s	220		permukaan bolong-bolong, permukaan kasar dimensi tetap, ikatan kurang rapat
Spesimen (PL) 4	1.5 mm/s	200		permukaan bolong-bolong, permukaan tidak berbentuk dimensi tetap, ikatan tidak saling mengikat
Nomor	Speed (Rpm)	Temperatur (°C)	Pembuatan Objek 3D dengan 3D Printer	Keterangan
Spesimen (PL) 5	1.5 mm/s	210	Tidak Berhasil	filamen tidak keluar dari <i>nozzle</i>
Spesimen (PL) 6	1.5 mm/s	220	Tidak Berhasil	filamen tidak keluar dari <i>nozzle</i>

Spesimen (AQ) 1	0.5 mm/s	200		permukaan kasar, dimensi tidak berbentuk, ikatan tidak saling mengikat
Spesimen (AQ) 2	0.5 mm/s	210		permukaan kasar, dimensi tetap, ikatan tidak tidak rapat
Spesimen (AQ) 3	0.5 mm/s	220		permukaan cukup halus, dimensi tetap, ikatan cukup rapat
Spesimen (AQ) 4	1.5 mm/s	200	Tidak Berhasil	filamen tidak keluar dari <i>nozzle</i>
Spesimen (AQ) 5	1.5 mm/s	210	Tidak Berhasil	filamen tidak keluar dari <i>nozzle</i>
Nomor	Speed (Rpm)	Temperatur (°C)	Pembuatan Objek 3D dengan 3D <i>Printer</i>	Keterangan
Spesimen (AQ) 6	1.5 mm/s	220	Tidak Berhasil	filamen tidak keluar dari <i>nozzle</i>

Berdasarkan hasil pengujian pencetakan objek 3D menggunakan filamen PET hasil pultrusi, diperoleh perbedaan kualitas hasil cetak yang dipengaruhi oleh jenis spesimen, kecepatan penarikan, dan temperatur proses. Pada spesimen berbahan botol PET merk LM, seluruh variasi parameter kecepatan penarikan dan

temperatur menunjukkan hasil pencetakan yang baik. Pada kecepatan penarikan 0.5 mm/s dengan temperatur 200°C dan 210°C, objek cetak memiliki permukaan halus, tidak bergelombang, serta ikatan antar lapisan yang baik. Kualitas terbaik pada spesimen LM diperoleh pada kombinasi kecepatan penarikan 0.5 mm/s dan temperatur 220°C, yang menghasilkan permukaan paling halus dengan ikatan antar lapisan yang sangat baik. Sementara itu, pada kecepatan penarikan 1.5 mm/s dengan temperatur 200°C hingga 220°C, hasil cetak tetap menunjukkan permukaan yang halus dan ikatan antar lapisan yang baik, meskipun kualitasnya tidak lebih baik dibandingkan pada kecepatan penarikan yang lebih rendah.

Berbeda dengan spesimen LM, filamen yang berasal dari botol PET merek PL menunjukkan kualitas hasil cetak yang kurang baik. Pada kecepatan penarikan 0.5 mm/s dengan temperatur 200°C hingga 220°C, objek cetak cenderung memiliki permukaan bolong-bolong dan kasar, dengan ikatan antar lapisan yang kurang rapat meskipun dimensi objek masih relatif tetap. Pada kecepatan penarikan 1.5 mm/s dan temperatur 200°C, kualitas hasil cetak semakin menurun, ditandai dengan permukaan yang tidak terbentuk dengan baik serta ikatan antar lapisan yang tidak saling mengikat. Pada temperatur 210°C dan 220°C dengan kecepatan penarikan yang sama, proses pencetakan tidak berhasil karena filamen tidak dapat keluar dari *nozzle printer*.

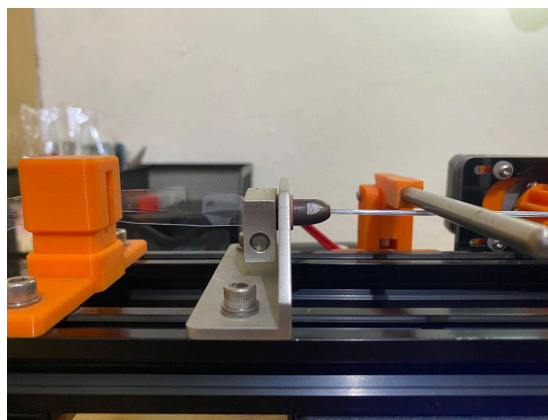
Hasil pengujian pada spesimen berbahan botol PET merek AQ menunjukkan kecenderungan yang serupa dengan spesimen PL. Pada kecepatan penarikan 0.5 mm/s dan temperatur 200°C, objek cetak memiliki permukaan kasar, dimensi tidak terbentuk dengan baik, serta ikatan antar lapisan yang tidak saling mengikat. Peningkatan temperatur menjadi 210°C menghasilkan dimensi objek yang lebih stabil, namun ikatan antar lapisan masih kurang rapat. Kualitas hasil cetak terbaik pada spesimen AQ diperoleh pada kombinasi kecepatan penarikan 0.5 mm/s dan temperatur 220°C, dengan permukaan yang cukup halus, dimensi yang tetap, serta ikatan antar lapisan yang cukup rapat. Namun demikian, pada kecepatan penarikan 1.5 mm/s untuk seluruh variasi temperatur, proses pencetakan tidak berhasil karena filamen tidak dapat keluar dari *nozzle*.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa jenis botol PET sangat mempengaruhi kualitas filamen dan hasil cetak 3D. Spesimen LM menghasilkan filamen dengan performa pencetakan paling stabil dan konsisten pada seluruh variasi parameter, sedangkan spesimen PL dan AQ menunjukkan keterbatasan performa, terutama pada kecepatan penarikan yang lebih tinggi. Selain itu, kombinasi temperatur yang lebih tinggi dan kecepatan penarikan yang lebih rendah cenderung menghasilkan kualitas hasil cetak yang lebih baik.

## 1.19 Analisis dan Pembahasan

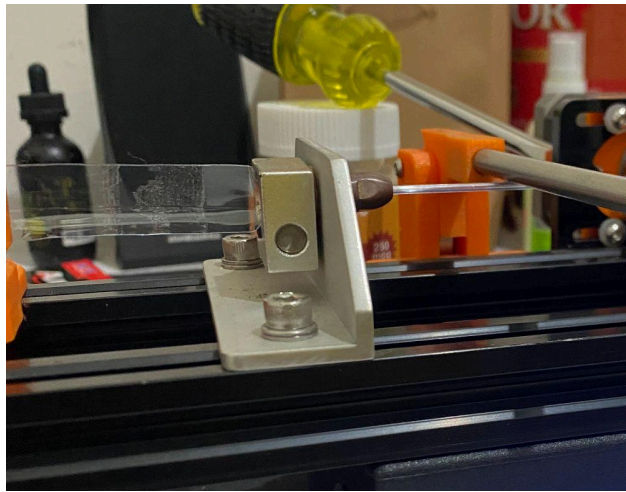
### 1.19.1 Pengaruh Temperatur *Nozzle* Pada Saat Pultrusi

Temperatur *nozzle* merupakan salah satu parameter yang sangat krusial dalam proses pultrusi karena secara langsung menentukan kualitas filamen yang terbentuk. Pada kondisi suhu yang terlalu rendah, material plastik PET tidak dapat meleleh secara optimal. Akibatnya, pita PET yang masuk ke dalam *nozzle* akan mengalami hambatan dalam proses alir, sehingga penarikan filamen menjadi tidak stabil. Kondisi ini biasanya menghasilkan filamen dengan permukaan kasar, diameter tidak konsisten, bahkan berpotensi menyebabkan penyumbatan pada *nozzle*. Ketidaktepatan pada tahap awal ini akan berdampak buruk pada proses pencetakan 3D, karena filamen dengan kualitas rendah dapat menurunkan akurasi hasil cetak dan meningkatkan potensi cacat pada objek yang dihasilkan.



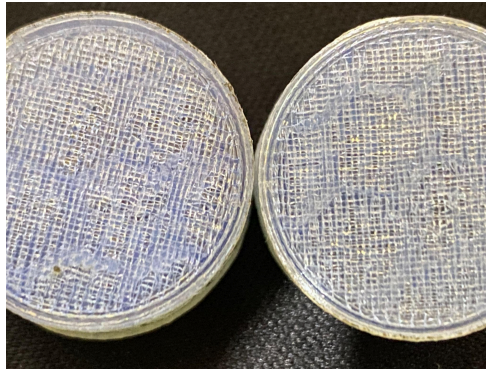
**Gambar 4.8** Proses Pultrusi

Karena itu, penentuan temperatur *nozzle* yang ideal menjadi langkah penting agar proses pemanasan berlangsung dalam kondisi yang benar-benar sesuai. Dengan temperatur yang tepat, material PET dapat meleleh secara merata dan menghasilkan aliran yang stabil saat ditarik keluar. Ketika proses pemanasan berlangsung optimal, pembentukan filamen akan lebih konsisten, baik dari segi dimensi maupun permukaan. Hal ini sangat penting untuk memastikan bahwa filamen yang dihasilkan memiliki kualitas yang cukup untuk digunakan dalam proses pencetakan selanjutnya, sekaligus mengurangi risiko cacat material seperti gelembung, retakan, atau perubahan diameter mendadak.



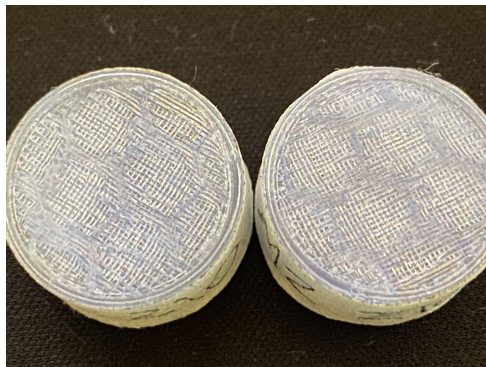
**Gambar 4.9** Pita Botol PET Meleleh Secara Merata

Oleh karena itu, penelitian ini menekankan pentingnya menentukan temperatur *nozzle* yang tepat selama proses pultrusi. Suhu yang sesuai akan memastikan material meleleh secara merata dan stabil, sehingga menghasilkan filamen dengan permukaan halus, diameter konstan, dan performa cetak yang baik. Untuk memahami efek suhu secara lebih jelas, dalam penelitian ini dilakukan pengujian dengan beberapa variasi temperatur, yaitu 200°C, 210°C, dan 220°C. Setiap variasi diuji untuk menilai pengaruhnya terhadap kualitas akhir filamen, termasuk kestabilan dimensi, sifat permukaan, serta kemampuan filamen tersebut saat digunakan dalam proses pencetakan 3D.



**Gambar 4.10** Hasil Cetak *Nozzle* Pultrusi 200°C

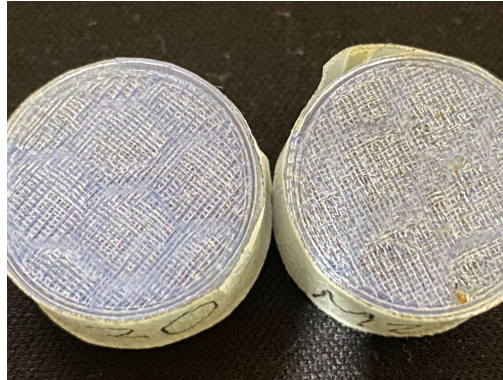
Gambar 4.10 menunjukkan hasil pencetakan objek 3D menggunakan filamen PET yang diproduksi pada suhu nozzle pultrusi sebesar 200°C. Secara visual, permukaan objek cetak tampak memiliki cukup banyak gelembung dan pori-pori kecil yang tersebar di beberapa bagian. Keberadaan gelembung tersebut mengindikasikan bahwa pada suhu pultrusi ini proses pelelehan material belum berlangsung secara optimal, sehingga berpengaruh terhadap kestabilan aliran filamen saat proses pencetakan. Kondisi ini menyebabkan kualitas permukaan objek cetak menjadi kurang halus dibandingkan dengan hasil cetak yang diperoleh pada suhu nozzle pultrusi yang lebih tinggi.



**Gambar 4.11** Hasil Cetak *Nozzle* Pultrusi 210°C

Gambar 4.11 menunjukkan hasil pencetakan objek 3D menggunakan filamen PET yang diproduksi pada suhu nozzle pultrusi sebesar 210°C. Secara visual, permukaan objek cetak terlihat cukup baik dan lebih rata dibandingkan dengan hasil pada suhu 200°C. Jumlah gelembung pada permukaan juga tampak lebih sedikit, yang menunjukkan bahwa proses pelelehan material pada suhu ini

berlangsung lebih optimal. Aliran filamen selama proses pencetakan terlihat lebih stabil, sehingga kualitas permukaan objek cetak mengalami peningkatan meskipun masih terdapat beberapa ketidaksempurnaan kecil.



**Gambar 4.12** Hasil Cetak *Nozzle* Pultrusi 220°C

Gambar 4.12 menunjukkan hasil pencetakan objek 3D menggunakan filamen PET yang diproduksi pada suhu nozzle pultrusi sebesar 220°C. Secara visual, permukaan objek cetak pada salah satu spesimen tampak memiliki jumlah gelembung yang lebih sedikit dibandingkan dengan spesimen lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa pada suhu pultrusi yang lebih tinggi, proses pelelehan dan aliran material berlangsung lebih optimal, sehingga mampu mengurangi pembentukan gelembung pada permukaan hasil cetak. Kondisi tersebut berdampak pada peningkatan kualitas permukaan, meskipun masih terdapat ketidaksempurnaan kecil pada beberapa bagian objek cetak.

### **1.19.2 Pengaruh Kecepatan Tarik Pada Saat Pultrusi**

Kecepatan tarik merupakan salah satu parameter penting dalam proses pultrusi yang secara langsung mempengaruhi kestabilan dimensi dan kualitas permukaan filamen yang dihasilkan. Jika kecepatan penarikan terlalu tinggi, material tidak memiliki waktu yang cukup untuk membentuk struktur yang seragam setelah keluar dari *nozzle*. Kondisi ini menyebabkan filamen cenderung memiliki diameter lebih kecil dari standar, permukaan menjadi tidak rata, dan material lebih rentan mengalami putus saat proses penarikan berlangsung. Ketidakkonsistenan ini tentu berdampak pada proses pencetakan 3D, karena

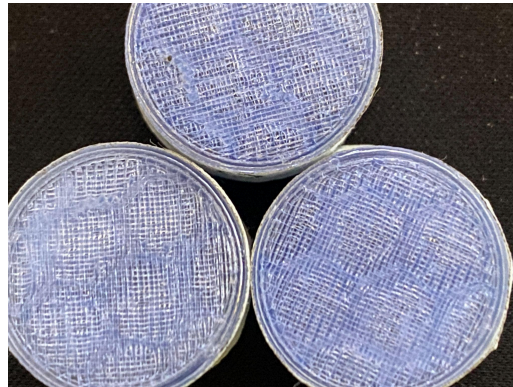
*printer* membutuhkan suplai filamen dengan aliran material yang stabil untuk menghasilkan objek cetak dengan kualitas optimal.

Oleh karena itu, pengaturan kecepatan tarik yang tepat menjadi kunci dalam memastikan bahwa material yang telah mengalami proses pemanasan dapat mengalir, membentuk, dan mengeras secara stabil. Kecepatan tarik harus disesuaikan dengan tingkat pencairan material di dalam *nozzle*, sehingga terdapat keselarasan antara laju keluarnya material dan laju penarikannya. Apabila kedua laju tersebut seimbang, filamen akan terbentuk dengan diameter yang sesuai dan permukaan yang lebih seragam. Dengan demikian, filamen dapat mempertahankan kualitas geometrisnya sebelum memasuki proses berikutnya, baik untuk penyimpanan maupun penggunaan pada *printer 3D*.

Sebaliknya, jika kecepatan penarikan terlalu lambat, material yang keluar dari *nozzle* akan menumpuk dan membentuk filamen dengan diameter yang lebih besar dari target. Penumpukan material tersebut dapat menyebabkan deformasi pada bentuk filamen serta menghasilkan permukaan yang tidak rata. Selain risiko cacat tersebut, kecepatan tarik yang terlalu rendah juga mengurangi efisiensi produksi karena waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan panjang filamen tertentu menjadi lebih lama. Dengan demikian, kecepatan tarik yang terlalu rendah tidak hanya berpengaruh pada kualitas filamen, tetapi juga pada produktivitas keseluruhan proses pultrusi.

Konsekuensi dari penggunaan kecepatan penarikan yang tidak sesuai menunjukkan bahwa pengendalian laju tarikan memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan antara proses pelelehan dan pembentukan filamen. Memahami batas bawah dan batas atas kecepatan yang masih dapat menghasilkan filamen berkualitas menjadi langkah penting dalam optimasi proses pultrusi. Dengan mengetahui rentang kecepatan yang aman dan efektif, operator dapat menyesuaikan parameter proses secara lebih presisi sehingga variasi kecepatan yang diuji dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai pengaruhnya terhadap karakteristik filamen. Pendekatan evaluatif ini memungkinkan penentuan kecepatan optimal secara lebih terukur dan sistematis.

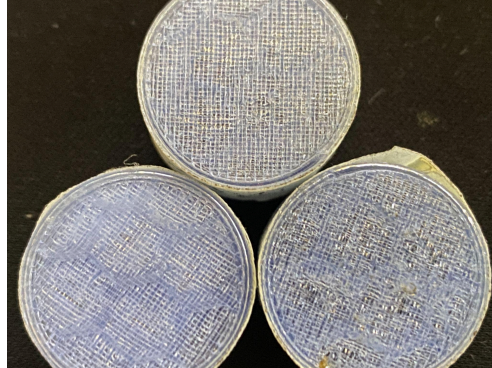
Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap dua variasi kecepatan penarikan, yaitu 0.5 mm/s dan 1.5 mm/s, untuk mengevaluasi perbedaan pengaruhnya terhadap kualitas filamen yang dihasilkan. Berdasarkan hasil observasi yang telah dilakukan, kecepatan pultrusi sebesar 0,5 mm/s terbukti menghasilkan filamen dengan diameter yang lebih besar dari standar 1.75 mm. Sebaliknya, pada kecepatan pultrusi 1,5 mm/s, filamen yang dihasilkan cenderung memiliki diameter lebih kecil dari standar 1,75 mm, disertai dengan peningkatan risiko terjadinya cacat. Selain itu, pada kecepatan ini filamen menunjukkan kecenderungan tidak meleleh secara sempurna akibat material yang tidak terdorong secara optimal selama proses ekstrusi pada mesin 3D *print*. Temuan ini mengindikasikan bahwa kecepatan rendah lebih sesuai untuk memastikan kualitas tinggi pada proses pembuatan filamen berbahan dasar PET menggunakan metode pultrusi, meskipun kecepatan tersebut mungkin membutuhkan waktu produksi yang lebih lama.



**Gambar 4.13** Hasil Cetak Kecepatan Tarik 0.5 mm/s

Gambar 4.13 menunjukkan hasil pencetakan objek 3D menggunakan filamen PET yang diproduksi dengan kecepatan tarik sebesar 0.5 mm/s. Secara visual, objek cetak yang dihasilkan memiliki permukaan yang paling mulus dan rata dibandingkan dengan variasi kecepatan tarik lainnya. Lapisan cetakan terlihat tersusun secara konsisten tanpa gelombang atau cacat permukaan yang signifikan. Selain itu, ikatan antar lapisan tampak baik dan rapat, yang menunjukkan bahwa aliran material selama proses pencetakan berlangsung stabil.

Kondisi ini mengindikasikan bahwa kecepatan tarik 0.5 mm/s menghasilkan filamen dengan kualitas yang optimal untuk proses pencetakan 3D.



**Gambar 4.14** Hasil Cetak Kecepatan Tarik 1.5 mm/s

Gambar 4.14 menunjukkan hasil pencetakan objek 3D menggunakan filamen PET yang diproduksi dengan kecepatan tarik sebesar 1.5 mm/s. Secara visual, permukaan objek cetak tampak sedikit bergelombang dan kurang rata dibandingkan dengan hasil cetak pada kecepatan tarik yang lebih rendah. Ketidakteraturan permukaan ini mengindikasikan adanya ketidakstabilan aliran material selama proses pencetakan. Meskipun demikian, ikatan antar lapisan masih terlihat cukup baik dan objek cetak tetap terbentuk dengan baik, yang menunjukkan bahwa filamen masih dapat digunakan untuk proses pencetakan 3D meskipun kualitas permukaan yang dihasilkan tidak seoptimal pada kecepatan tarik 0.5 mm/s.



**Gambar 4.15** Hasil Yang Gagal Dalam Proses Pengujian

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **1.20 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa proses daur ulang botol plastik *polyethylene terephthalate* (PET) menjadi filamen 3D printing menggunakan metode pultrusi dapat dilakukan dan menghasilkan filamen yang dapat digunakan pada proses *Fused Filament Fabrication* (FFF).

Variasi suhu proses pultrusi dan kecepatan pultrusi terbukti memberikan pengaruh terhadap kualitas filamen yang dihasilkan. Suhu proses yang lebih tinggi dalam rentang penelitian, khususnya 220°C, serta kecepatan pultrusi yang lebih rendah (0.5 mm/s) cenderung menghasilkan filamen dengan kualitas permukaan yang lebih baik dan kestabilan proses pencetakan yang lebih tinggi dibandingkan parameter lainnya.

Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan merek botol PET mempengaruhi keberhasilan proses pembuatan filamen, yang disebabkan oleh perbedaan karakteristik material masing-masing botol. Hal ini mengindikasikan bahwa metode pultrusi memerlukan penyesuaian parameter proses terhadap jenis material yang digunakan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa filamen hasil daur ulang botol PET memiliki potensi sebagai alternatif bahan baku filamen 3D printing FFF, ditinjau dari aspek kualitas hasil cetak secara visual, sehingga dapat menjadi langkah awal dalam pemanfaatan limbah plastik PET untuk aplikasi manufaktur aditif skala laboratorium.

### **1.21 Saran atau Penelitian Selanjutnya**

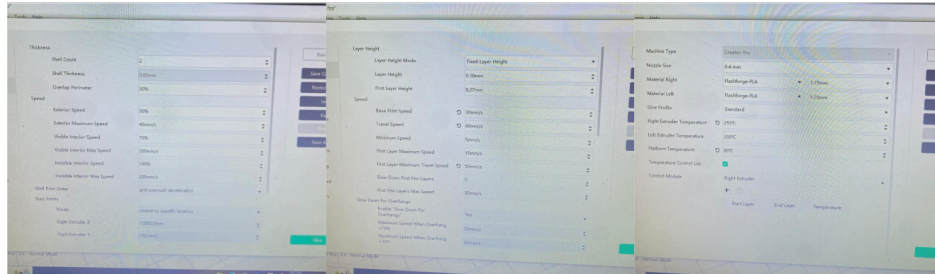
Melakukan pengujian kekuatan material, untuk mengetahui kekuatan dari material dari bahan *polyethylene terephthalate* (PET).

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, H. D. (2023). Peran Teknologi 3D Printing dalam Manufaktur Komponen Mesin. *WriteBox*, 1(1), Article 1.
- Chen, A. (2019). *5 things to learn on Extruder – Core part of a 3D printer*.
- Erokhin, K., Naumov, S., & Ananikov, V. (2023). *Defects in 3D Printing and Strategies to Enhance Quality of FFF Additive Manufacturing. A Review*. ChemRxiv.
- Fahlevi, M. R. (2012, Januari 2). pandangan mata: Sampah Plastik. *pandangan mata*.
- Fauzan, M. (2025, Maret 12). Merek air mineral favorit di indonesia. *Merek Air Mineral Favorit Publik Indonesia Untuk Terbuka*.
- Helindro, G. (2024, April 16). *Sampah Plastik Telah Menjadi Masalah Antarnegara*. betahita.id.
- Khumaydi, A. Z. (2019). *PERANCANGAN DAN ANALISIS MESIN PENGOLAH LIMBAH PLASTIK PET DENGAN METODE EXTRUDER SEBAGAI PENGHASIL PELLET*.
- Oussai, A., Bártfai, Z., & Kátai, L. (2021). Development of 3D Printing Raw Materials from Plastic Waste. A Case Study on Recycled Polyethylene Terephthalate. *Applied Sciences*, 11(16), 7338.
- Pristiansyah, Wahyudi, & Suzen, Z. S. (2025). Pengaruh Parameter Proses Pencetakan 3D Printing Terhadap Kebulatan Produk Menggunakan Folament PETG. *13, vol.3 no.1*.
- Tondi, H. (2019). *Rancang Bangun Mesin Ekstruder Filamen 3D Printer*. 66.
- Tylman, I., & Dzierżek, K. (2020). Filament for a 3D Printer from Pet Bottles-Simple Machine. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 1386–1392.

# LAMPIRAN 1

## 1. Parameter Mesin 3d *Printing*



## 2. Alat Pultrusi Manual

