

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada tinjauan pustaka bertujuan untuk memberikan gambaran tentang literatur yang digunakan sebagai acuan dalam penulisan dasar teori tentang topik yang dibahas yaitu “Rancang Bangun Alat Perata Permukaan Botol Plastik sebagai Perlakuan Awal dalam Proses Pembuatan Filamen”.

#### **2.1 Printer 3D**

Sebuah produk yang akan diproduksi secara massal memerlukan sebuah *prototype* awal sehingga bisa menilai apakah suatu produk desain telah memenuhi kriteria yang diinginkan dan siap untuk diproduksi secara massal. *Prototyping* akan sangat membantu menentukan proses produksi selanjutnya dan nilai investasi yang harus dikeluarkan. Untuk keperluan pembuatan prototipe awal tersebut, salah satu alternatifnya adalah menggunakan printer 3D (Dahlan, Budi, & Hilyana, 2017).

Teknologi 3D printing atau cetak tiga dimensi termasuk ke dalam kelompok *Additive Manufacturing*, yakni metode pembuatan produk melalui penambahan material secara bertahap lapis demi lapis sesuai model digital. Salah satu jenis proses dalam 3D printing adalah *Fused Deposition Modelling* (FDM), yang telah banyak digunakan karena kemudahan operasional dan biaya yang relatif rendah. Menurut Berman (2012), FDM sangat efektif untuk pembuatan prototipe cepat (*rapid prototyping*) dalam bidang desain produk, rekayasa teknik, dan manufaktur skala kecil.



**Gambar 2. 1** 3D Printer

**Sumber:** Ubuy Indonesia - Halaman Produk Creality Ender-3

## 2.2 Filamen 3D Printer

Filamen 3D merupakan bahan utama dalam proses pencetakan objek tiga dimensi menggunakan teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM). Filamen ini umumnya berbentuk gulungan dengan diameter tertentu dan terdiri dari bahan termoplastik seperti PLA (*Polylactic Acid*), PLA+ (*Polylactic Acid Plus*), ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), dan PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) yang dapat dilelehkan dan dibentuk ulang secara bertahap berdasarkan model digital. Teknologi ini memungkinkan pencetakan prototipe maupun produk fungsional secara efisien dan presisi tinggi (Prasetyo & Rahman, 2020).

Kualitas cetakan 3D sangat dipengaruhi oleh parameter seperti suhu nozzle, kecepatan pencetakan, dan tinggi lapisan. Salah satu studi menunjukkan bahwa pengaturan suhu dan kecepatan yang tepat dapat meningkatkan tingkat transparansi dan ketahanan objek cetak, terutama ketika menggunakan material PETG (Wahyudi & Suzen, 2025).

Filamen untuk pencetakan 3D adalah material berbentuk silinder panjang dengan diameter tertentu yang terbuat dari berbagai jenis polimer (plastikan). Filamen ini berfungsi sebagai bahan dasar dalam proses pencetakan menggunakan mesin 3D printer tipe FDM (*Fused Deposition Modeling*). Secara umum, terdapat 4 jenis filamen 3D berdasarkan bahan dasarnya, yaitu PLA (*Polylactic Acid*), ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), TPE (*Thermoplastic Elastomers*), dan PC (*Polycarbonate*).

### **2.1.1 Filamen PLA**

PLA merupakan salah satu jenis filamen yang paling banyak digunakan dalam pencetakan 3D, terutama karena bahan dasar pembuatannya yang berasal dari sumber alami seperti jagung atau tebu. Sebagai plastik berbasis bioplastik, PLA dikenal karena sifatnya yang ramah lingkungan dan mudah diproses. Filamen ini tidak mengeluarkan bau saat dipanaskan, sehingga sangat cocok untuk mencetak model-model yang tidak membutuhkan ketahanan terhadap suhu tinggi. Keunggulannya terletak pada kemudahan pencetakan, pilihan warna yang beragam, dan dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan plastik berbasis minyak bumi. Meskipun demikian, PLA memiliki beberapa kekurangan, seperti sifatnya yang rapuh, kurang tahan terhadap panas, serta kecenderungannya untuk terdegradasi jika terpapar kelembaban dalam jangka waktu lama



**Gambar 2. 2** Filamen PLA

Sumber : : <https://www.tokopedia.com/>

### **2.1.2 Filamen PLA+**

PLA+ merupakan varian dari filamen PLA yang telah ditingkatkan melalui penambahan aditif tertentu untuk memperbaiki sifat mekanik dan kualitas hasil cetak. Dibandingkan PLA biasa, PLA+ memiliki kekuatan tarik yang lebih baik, lebih lentur, serta lebih tahan terhadap retakan dan tekanan. Selain itu, hasil cetaknya cenderung lebih halus dengan detail yang tajam dan risiko delaminasi antar-layer yang lebih rendah. PLA+ tetap mempertahankan keunggulan utama PLA seperti mudah dicetak, tidak memerlukan heated bed, serta memiliki tingkat penyusutan dan warping yang rendah (Ridwan, 2023).

Filamen ini juga bersifat ramah lingkungan karena berbahan dasar dari sumber terbarukan seperti pati jagung atau tebu. Dengan peningkatan ketahanan terhadap suhu dan kondisi lingkungan yang lebih ekstrem, PLA+ cocok digunakan untuk berbagai aplikasi seperti prototipe fungsional, casing elektronik, mainan, dan komponen mekanik ringan. Kombinasi antara kekuatan, stabilitas dimensi, dan kemudahan pencetakan menjadikan PLA+ sebagai salah satu pilihan populer di kalangan pengguna printer 3D, baik untuk keperluan hobi maupun produksi berskala kecil (Ridwan, 2023).

### **2.1.3 Filamen ABS**

ABS adalah jenis filamen plastik yang memiliki kekuatan dan daya tahan lebih baik dibandingkan dengan PLA. Filamen ini sering digunakan untuk mencetak objek yang memerlukan ketahanan fisik yang tinggi, seperti mainan, komponen otomotif, dan perangkat rumah tangga. Keunggulan utama ABS terletak pada kekuatan mekaniknya, ketahanan terhadap suhu tinggi, serta kemampuannya

untuk diproses dengan baik melalui pemanasan dan pembentukan. Namun, ABS juga memiliki beberapa kekurangan, seperti menghasilkan bau yang kurang menyenangkan saat pencetakan, memerlukan suhu pencetakan yang lebih tinggi, serta lebih rentan mengalami penyusutan atau perubahan bentuk (*warping*) jika tidak menggunakan pelat pemanas.

#### **2.1.4 Filamen PETG**

PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) adalah jenis filamen printer 3D yang merupakan modifikasi dari PET dengan penambahan glikol, sehingga memiliki sifat yang lebih kuat, fleksibel, dan tahan terhadap benturan serta suhu sedang. PETG juga memiliki ketahanan kimia yang baik dan tidak mudah menyerap kelembaban, sehingga lebih stabil saat proses pencetakan dan hasil cetaknya cenderung transparan atau glossy (Sari & Putra, 2022).

Dibandingkan dengan PLA, PETG menawarkan ketahanan yang lebih baik terhadap suhu dan tekanan mekanis, tetapi tetap mudah dicetak tanpa memerlukan pengaturan suhu yang kompleks. Filamen ini sering digunakan dalam pembuatan produk seperti botol kemasan, wadah makanan, komponen prototipe, dan produk fungsional lainnya yang membutuhkan keseimbangan antara kekuatan dan estetika (Wijaya, 2021).

## **2.2 Botol Plastik PET**

Botol plastik bekas, yang termasuk dalam kategori sampah anorganik, banyak dijumpai di lingkungan sekitar kita. Meskipun botol plastik sering kali tidak disarankan untuk digunakan kembali karena potensi dampak negatifnya terhadap

kesehatan, botol tersebut sebenarnya masih memiliki berbagai manfaat. Salah satu pemanfaatannya adalah sebagai bahan kerajinan tangan yang dapat memiliki nilai ekonomi dan seni tersendiri (Putra & Sari, 2021). Dengan kreativitas yang tepat, botol plastik bekas dapat diubah menjadi berbagai produk yang berguna, sehingga membantu mengurangi dampak buruk sampah plastik terhadap lingkungan.

Salah satu inovasi yang menarik adalah pemanfaatan limbah botol plastik, khususnya yang terbuat dari *polyethylene terephthalate* (PET), untuk pembuatan filamen 3D. Proses ini bertujuan untuk mengurangi jumlah sampah plastik dengan mendaur ulangnya menjadi bahan yang bermanfaat, seperti filamen untuk pencetakan 3D. Filamen PET memiliki titik leleh yang cukup tinggi, antara 250°C hingga 260°C, menjadikannya cocok untuk aplikasi pencetakan objek yang membutuhkan ketahanan terhadap suhu tinggi dan kekuatan struktural.



**Gambar 2. 3** Botol PET

### 2.3 Lekukan Botol

Lekukan pada permukaan botol merupakan salah satu elemen penting dalam desain kemasan yang berfungsi tidak hanya untuk meningkatkan tampilan estetika tetapi juga untuk meningkatkan fungsi dan kekuatan struktural botol. Desain lekukan pada botol, seperti alur vertikal atau horizontal, dapat meningkatkan pegangan atau cengkeraman, sehingga membuat botol lebih nyaman digunakan. Selain itu, lekukan juga dapat mengurangi penggunaan bahan baku tanpa mengorbankan kekuatan botol, yang sangat penting dalam produksi botol plastik dan kaca. Pada botol berkarbonasi, lekukan pada bagian dasar atau sisi botol membantu mendistribusikan tekanan dengan lebih merata, sehingga mengurangi risiko botol pecah akibat tekanan yang terkonsentrasi pada satu titik.



**Gambar 2. 4** Lekukan botol

## 2.5 Prinsip Perpindahan Panas

Diketahui bahwa ada tiga cara perpindahan panas yang mekanismenya sama sekali berlainan, yaitu :

1. Secara molekul disebut konduksi
2. Secara aliran disebut konveksi
3. Secara gelombang elektromagnetik disebut radiasi

Dalam zat yang tidak bergerak, misalnya padatan, panas berpindah hanya secara konduksi karena getaran molekul dari satu molekul ke molekul lain. Besarnya fluksi panas antara dua tempat dalam padatan dinyatakan dengan persamaan Fourier. Di dalam fluida, konduksi panas juga terjadi, tetapi sebagian besar panas dipindahkan secara konveksi, yaitu terbawa oleh massa fluida yang bergerak sebagai aliran. Perpindahan panas secara radiasi terjadi melalui gelombang elektromagnetik antara dua permukaan yang berbeda temperatur; untuk perpindahan panas radiasi, tidak diperlukan zat perantara, terutama pada gelombang infra merah (Fauzia et al., 2023).

### 2.5.1 Konduksi

Konduksi adalah proses mengalirnya panas dari daerah yang bertemperatur lebih tinggi ke daerah yang bertemperatur lebih rendah di dalam satu media (padat, cair, atau gas) atau antara media-media yang berlainan dan bersinggungan secara langsung. Persamaan dasar perpindahan panas secara konduksi (Holman dalam Alham et al, 2024).

$$Q_{konduksi} = -KA \frac{dt}{dx}$$

Keterangan :

$Q_{konduksi}$  = Laju perpindahan panas secara konduksi  
(Watt)

$K$  = Konduktivitas Termal Bahan  
(Watt/m. °K)

$A$  = Luas penampang perpindahan panas  
( $m^2$ )

$dt$  = Perubahan Temperatur (°K)

$dx$  = Jarak dalam arah aliran panas (m)

### 2.5.2 Konveksi

Perpindahan panas konveksi terjadi karena adanya transfer energi dalam bentuk kalor antara suatu permukaan dan fluida yang bergerak di atasnya, transfer energi terjadi karena adanya gerakan molekul secara acak (random) atau karena adanya gerakan fluida (secara mikroskopik) (Fauzia et al., 2023).

$$Q_{konveksi} = h \times A \times \Delta T$$

Keterangan :

$Q_{konveksi}$  = Laju perpindahan panas secara *konveksi*  
(Watt)

$A$  = Luas penampang perpindahan panas ( $m^2$ )

$\Delta T$  = Beda antara *temperatur* permukaan dan temperatur *fluida* lingkungan yang ditentukan ( $^{\circ}C$ )

$h$  = Koefisien perpindahan panas *konveksi* (Watt/m<sup>2</sup>.  $^{\circ}C$ )

## 2.6 Energi Termal dan Hubungan Energi Total

### 2.6.1 Energi Termal

Energi termal adalah energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu suatu benda. Dalam konteks pemanasan botol PET (Polyethylene Terephthalate), energi yang diperlukan dapat dihitung menggunakan rumus dasar termodinamika (Cengel & Boles, 2015):

$$Q = m c \Delta T$$

Keterangan:

$Q$  = Energi panas yang dibutuhkan (Joule)

$m$  = Massa botol PET (kg)

$c$  = Kalor jenis material PET (sekitar 1200 J/kg. $^{\circ}C$ )

$\Delta T$  =  $T_{\text{akhir}} - T_{\text{awal}}$  = Perubahan suhu ( $^{\circ}C$ )

### 2.6.2 Hubungan Energi Total

Dalam proses pemanasan sistem nyata, energi dari heater tidak langsung diserap sepenuhnya oleh botol. Energi akan mengalami berbagai tahapan perpindahan panas, seperti:

1. Dari heater ke tabung (konduksi)
2. Dari tabung ke media pemanas (biasanya air atau udara – konveksi)
3. Dari media ke permukaan botol (konveksi)
4. Diserap oleh botol (kapasitas panas spesifik)

Kondisi Ideal (tanpa kehilangan panas):

$$Q_{\text{heater} \rightarrow \text{tabung}} = Q_{\text{tabung} \rightarrow \text{air}} = Q_{\text{air} \rightarrow \text{botol}} = Q_{\text{botol}}$$

Rumus Energi Total pada Kondisi Nyata

Dalam kenyataan, ada kehilangan energi di setiap tahapan, sehingga energi yang diterima oleh botol lebih kecil dibanding energi yang dilepaskan heater:

$$Q_{\text{heater}} > Q_{\text{tabung}} > Q_{\text{air}} > Q_{\text{botol}}$$

Secara umum, hubungan energi pada kondisi nyata dapat dituliskan sebagai:

$$\eta = \frac{Q_{\text{botol}}}{Q_{\text{heater}}} \times 100\%$$

keterangan:

$\eta$  = efisiensi perpindahan panas (%)

$Q_{\text{botol}}$  = energi yang diserap oleh botol (Joule)

$Q_{\text{heater}}$  = energi yang dilepaskan oleh heater (Joule)

Nilai  $\eta$  menunjukkan seberapa efisien energi dari heater ditransfer dan digunakan untuk memanaskan botol. Semakin tinggi nilai  $\eta$  (mendekati 100%), berarti sistem perpindahan panas semakin efisien dengan sedikit kehilangan energi selama proses pemanasan.