

# Pemanfaatan Limbah Plastik PET Sebagai Filamen Printer 3D dengan Metode Pultrusi

Rizky Wirantara<sup>1</sup>, Mochamad Syamsiro<sup>2\*</sup>, Juriah Mulyanti<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra

<sup>1,2,3</sup>Jalan Tentara Rakyat Mataram No. 55-57 Yogyakarta 55231, Indonesia

E-mail: wirantara03@gmail.com<sup>1</sup>, syamsiro@janabadra.ac.id<sup>2</sup>, jm.yanti@janabadra.ac.id<sup>3</sup>

---

## Info Naskah:

Naskah masuk: 17 September 2024

Direvisi: 13 November 2024

Diterima: 1 Januari 2025

---

## Abstrak

Sampah botol plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) dapat didaur ulang menjadi filamen *3D printer* melalui metode pultrusi. Beberapa penelitian terdahulu telah mengidentifikasi parameter filamen daur ulang PET, namun belum secara mendalam meneliti pengaruh kombinasi parameternya termasuk tingkat kekasarannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi parameter temperatur *bed* dan *head*, serta *speed* terhadap ukuran hasil *3D printing* filamen botol plastik PET, serta untuk mengetahui cacat yang terjadi dan uji kekasaran permukaan. Hasil terbaik yang mendekati ukuran ideal ditemukan pada temperatur *head* 265°C, temperatur *bed* 80°C, dan *speed* 35 mm/s. Cacat yang dominan muncul adalah *under & over-extrusion*, *weak infill*, dan *layer separation and splitting*. Cacat minimal diperoleh pada temperatur *head* 265°C dan 260°C dengan temperatur *bed* 80°C pada *speed* 35 mm/s. Hasil kekasaran permukaan terendah termasuk kelas N10, yaitu  $Ra = 16,137 \mu m$ . Penelitian ini menunjukkan parameter yang optimal dapat menghasilkan kualitas yang baik, menjadikannya alternatif material filamen.

---

## Keywords:

polyethylene terephthalate;  
pultrusion;  
head temperature;  
bed temperature;  
speed.

---

## Abstract

Polyethylene terephthalate (PET) plastic bottle waste can be recycled into 3D printer filament through pultrusion method. Some previous studies have identified the parameters of PET recycled filament, but have not yet deeply examined the effect of the combination of parameters including the level of roughness. This study aims to evaluate the effects of variations in bed and head temperatures and printing speed on the dimensions of 3D-printed PET filament, to analyze defects, and to assess surface roughness. The results showed that the best products were found at a head temperature of 265°C, a bed temperature of 80°C, and a speed of 35 mm/s. The dominant defects that appeared were under & over-extrusion, weak infill, and layer separation and splitting. Minimal defects were obtained at a head temperature of 265°C and 260°C with a bed temperature of 80°C at a speed of 35 mm/s. The lowest surface roughness results were in class N10, namely  $Ra = 16.137 \mu m$ . This study indicates that optimized parameters produce high quality, making PET a sustainable alternative material.

---

\*Penulis korespondensi:

Mochamad Syamsiro

E-mail: syamsiro@janabadra.ac.id

## 1. Pendahuluan

Sampah seperti botol plastik merupakan bagian yang tidak dapat terpisahkan dari kehidupan manusia. Menurut data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) pada tahun 2022 timbunan sampah mencapai 36jt Ton, dan 18% diantaranya adalah sampah Plastik. Volume sampah plastik di Kota Yogyakarta cukup tinggi, yakni hingga mencapai 20% dari total 257 ton sampah yang diangkut ke TPST Piyungan setiap hari [1]. Botol plastik bisa menjadi ancaman terhadap bencana lingkungan. Penguraian botol plastik bisa memakan waktu 450 sampai 1.000 tahun. Sehingga sampah botol plastik akan menjadi limbah yang sangat berbahaya [2]. Jenis plastik yang sering digunakan yaitu plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET).

Plastik memiliki peranan yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari, umumnya digunakan sebagai bahan pengemas makanan dan minuman karena sifatnya yang kuat, ringan dan praktis [3]. Salah satu contohnya botol plastik bisa didaur ulang menjadi biji plastik menggunakan mesin dengan pemanas *band heater* maupun dengan mesin pemanas induksi.[4] Botol plastik PET dipilih karena memiliki sifat termoplastik dan mudah meleleh dengan suhu 225°C [5], sehingga mudah dibentuk kembali, bersifat elastis yang cocok digunakan sebagai bahan baku pencetakan objek 3D menggunakan mesin printer 3D [6].

Salah satu solusi dalam mendaur ulang limbah PET adalah dengan mengubahnya menjadi filamen *3D printing*, selain mengurangi akumulasi jumlah limbah plastik, pembuatan filamen juga menjanjikan dan mendukung ekonomi. Beberapa metode telah diterapkan untuk mengolah limbah ini, diantaranya adalah ekstrusi dan pultrusi. Metode ekstrusi yakni mencairkan cacahan plastik pada suhu tinggi dan membentuknya kembali menjadi filamen, sedangkan metode pultrusi menawarkan kelebihan berupa diameter filamen yang lebih seragam [7]. Namun pada penelitian ini belum mengkaji pengaruh terhadap kualitas hasil produk.

PET memiliki sifat mekanik yang mirip dengan PLA, yang merupakan material yang umum digunakan dalam pencetakan 3D. Temuan ini menunjukkan bahwa PET dapat menjadi alternatif material filamen *3D printing* yang layak dan hemat biaya. [8] tetapi aplikasinya pada hasil cetak dengan parameter lebih variatif belum diuji secara menyeluruh, celah ini menjadi penting untuk memastikan hasil produk sesuai dengan yang diinginkan.

Sudah ada beberapa penelitian yang dilakukan, namun masih ada tantangan yang perlu diatasi. Salah satunya adalah optimasi parameter proses *3D printing* seperti *head temperature*, *bed temperature* dan *speed*. Parameter ini sangat mempengaruhi hasil cetak, terutama ketika menggunakan filamen dari botol plastik yang memiliki karakteristik berbeda dengan filamen komersial. Parameter permesinan *3D print speed nozzle* dan *setting infill* erat kaitannya dengan kualitas produk yang dihasilkan.[9] Penelitian terdahulu merekomendasikan nilai parameter seperti temperatur *head* 256°C, temperatur *bed* 80°C, dan *speed* pencetakan 35 mm/s untuk filamen PET [10], namun nilai ini masih memerlukan verifikasi lebih lanjut untuk mencapai hasil optimal pada filamen hasil daur ulang.

Uji kekasaran permukaan pernah dilakukan pada material *Poly lactide* (PLA) dengan parameter temperatur

*nozzle* 190°C dan *base plate* 30°C, memiliki kehalusan yaitu 5.709  $\mu\text{m}$  [11]. Pada studi ini belum mencakup pengujian material PET daur ulang.

Penelitian ini diangkat dengan tujuan untuk mengolah limbah botol plastik PET menjadi filamen mesin *3D Printer* dan untuk mengetahui pengaruh variasi parameter parameter *head*, *bed* dan *speed* terhadap filamen botol plastik PET, ukuran hasil *3D printing* filamen botol plastik PET, mengetahui cacat yang terjadi pada hasil *3D printing* dan melakukan uji kekasaran permukaan. Hasil dari penelitian ini diharapkan memberikan rekomendasi parameter yang optimal untuk mencetak filamen daur ulang botol plastik PET.

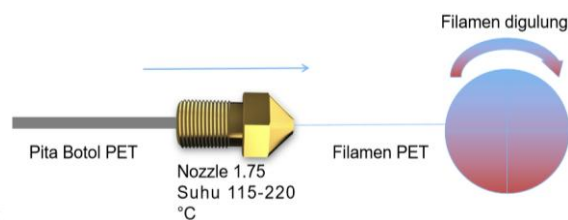
## 2. Metode

### 2.1. Botol plastik PET menjadi Filamen

Dari berbagai contoh pemanfaatan limbah botol diatas, PET bisa dijadikan produk yang ekonomis seperti Filamen. Ada beberapa metode yang bisa digunakan untuk mengolah plastik menjadi filamen [12], yakni Ekstruder pada termoplastik [13], dan Metode Pultrusi.

### 2.2. Metode Pultrusi

Metode Pultrusi digunakan dalam proses pembuatan filamen ini, karena menghasilkan tingkat diameter filamen yang seragam, daripada menggunakan metode ekstrusi [7]. Prinsip kerja alat ini adalah *nozzle* yang dilubangi khusus sehingga memungkinkan proses pultrusi filamen dengan diameter 1,75 mm [10]. Tali plastik melewati blok pemanas yang diplastisasi kemudian dibentuk oleh *nozzle* menjadi filamen. Suhu yang diperlukan untuk memanaskan blok adalah 115°C dan suhu ini dipilih secara eksperimen, sedangkan kecepatan putar penggulangan filamen adalah 30 rpm [14]. Ilustrasi metode pultrusi bisa dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Metode Pultrusi

Filamen pada printer 3D digunakan untuk mencetak desain dari perangkat lunak di komputer. Ukuran standar filamen adalah 1.75 mm, namun ada juga yang berdiameter 3 mm. Banyak material bisa dijadikan filamen, terutama termoplastik yang tangguh, kuat, dan mudah dibentuk. Kualitas filamen ditentukan oleh kekuatan dan bentuk benda yang dihasilkan. Filamen yang umum dijual saat ini terbuat dari *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) dan *Poly lactide* (PLA). [15]

Teknologi *3D printing* adalah metode manufaktur aditif yang memungkinkan pencetakan objek tiga dimensi dengan menumpuk lapisan-lapisan material secara bertahap. Teknologi *3D printing* memungkinkan produksi komponen mesin dengan tingkat presisi yang tinggi dan fleksibilitas

yang belum pernah terjadi sebelumnya. [16]. Ekstruder dianggap sebagai salah satu komponen penting dari printer 3D. Ini adalah bagian dari printer 3D yang bertanggung jawab untuk menarik, melelehkan, dan mengeluarkan filamen.

Ekstruder memiliki dua tipe berbeda tergantung pada *drive* yakni :

- 1) *Direct Extruder* , Filamen langsung turun melalui *Cold End* dan masuk ke *Hot End*. Salah satu keuntungan utama *Direct Extruder* adalah jarak yang sangat pendek antara mekanisme penggerak dan *Hot End*. Artinya lebih responsif terhadap ekstrusi dan retraksi.
- 2) *Bowden extruder* , Jenis ekstruder yang *Hot End* dan *Cold End* tidak saling menempel secara langsung. Sebaliknya, Ada selang yang memanjang dari ekstruder hingga *hot end*. Dengan pengaturan ini, printer akan mampu mencetak lebih cepat, akurat, dan presisi dibandingkan printer 3D dengan *Direct Extruder*. [17]

*Hot-bed* adalah alas permukaan obyek yang dicetak, umumnya terdiri dari selembur aluminium yang dilengkapi dengan elemen pemanas dan beberapa lapisan tambahan yang membantu dalam proses pencetakan. [18]. Kecepatan cetak (*print speed*) ini, dapat saja mempengaruhi obyek yang dicetak mesin *3D printing* . Pengamatan visualisasi patahan yang terjadi dari hasil pengujian perlu diamati. [19].

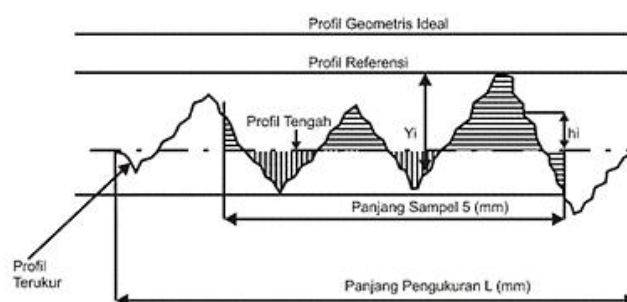
### 2.3. Cacat yang terjadi pada hasil Printer 3D

- a) *Under and Over Extrusion*  
*Under extrusion*: printer 3D tidak memberikan cukup bahan cetakan, menyebabkan lapisan tipis atau tidak terhubung baik. *Over extrusion*: terlalu banyak bahan cetakan dilelehkan, menghasilkan cetakan yang tidak akurat atau berantakan.
- b) *Stringing (Hairy Prints)*  
*Stringing* adalah jejak benang plastik halus di antara cetakan 3D, disebabkan oleh suhu *nozzle* yang terlalu tinggi, kecepatan gerakan *nozzle* yang lambat, atau pengaturan *retraction* yang tidak tepat.
- c) *Layer separation and splitting*  
Ketika *layer* terpisah, mereka akan terbelah selama pencetakan, merusak lapisan-lapisan berikutnya.
- d) *Blobs and zits on the surface*  
*Blobs*: Gumpalan kecil material di permukaan cetakan, disebabkan oleh ekstrusi berlebihan. *Zits*: Titik-titik menonjol, muncul saat *nozzle* berhenti dan mulai lagi.
- e) *Curling and Rough Corners*  
*Curling*: Ujung cetakan melengkung ke atas, sering terjadi pada bagian pertama lapisan atau di sudut. *Rough Corners*: Sudut cetakan yang kasar dan tidak halus.
- f) *Weak Infill*  
Struktur isi dalam cetakan yang rapuh dan tidak kuat.
- g) *Gaps between the infill and outline*  
Ruang kosong yang muncul di antara *infill* dan dinding luar (*outline/perimeter*) cetakan[20].

### 2.4. Kekasaran Permukaan

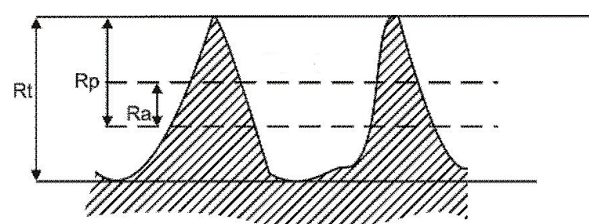
Kekasaran permukaan merupakan suatu karakteristik permukaan dan ketidakaturan konfigurasi permukaan berupa guratan yang terlihat pada profil permukaan. [21]

- a) *Profil Geometris Ideal*  
Profil permukaan ideal yang tidak mungkin dicapai, seperti garis lurus, lingkaran, atau garis lengkung.
- b) *Profil Referensi*  
Dasar untuk analisis permukaan, menyentuh puncak tertinggi profil terukur.
- c) *Profil Terukur*  
Profil permukaan yang diukur, digunakan untuk analisis kekasaran.
- d) *Profil Dasar*  
Profil referensi yang digeser ke titik terendah profil terukur.
- e) *Profil Tengah*  
Profil di tengah yang membagi luas penampang permukaan menjadi dua bagian sama besar. Untuk lebih memperjelas dimana posisi dari profil geometris ideal, profil terukur, profil referensi, profil dasar, dan profil tengah, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi Profil Suatu Permukaan [22]

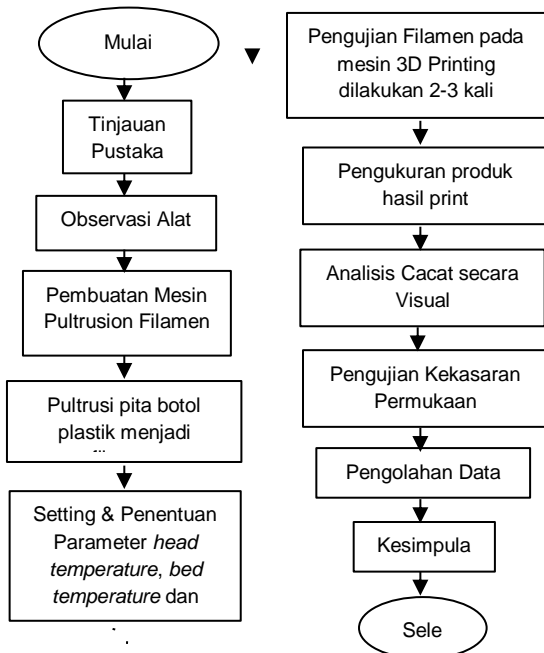
- f) *Kedalaman Total,  $R_t$*   
Kedalaman total ini adalah besarnya jarak dari profil referensi sampai dengan profil dasar. Satuannya adalah dalam mikron ( $\mu m$ ) seperti terlihat pada Gambar 3.
- g) *Kedalaman Perataan,  $R_p$*   
Kedalaman perataan ( $R_p$ ) merupakan jarak rata-rata dari profil referensi sampai dengan profil terukur. Bila juga dikatakan bahwa kedalaman perataan merupakan jarak antara profil tengah dengan profil referensi Lihat Gambar 3.
- h) *Kekasaran Rata-rata Arutmetis,  $R_a$*   
Kekasaran rata-rata merupakan harga-harga rata-rata secara aritmetis dari harga absolut antara harga profil terukur dengan profil tengah [22] seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi Profil Permukaan [22]

## 2.5. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan melalui beberapa bagian proses dan mengikuti diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

## 2.6. Alat dan Bahan

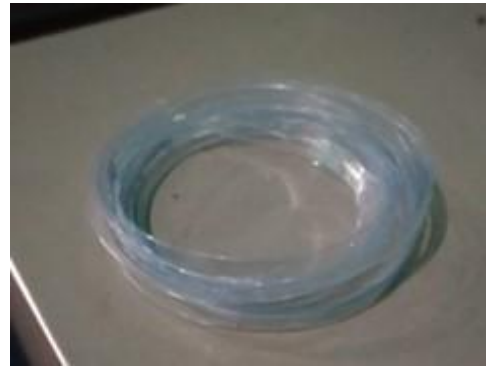
Tabel 1 menunjukkan beberapa alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini. Pastikan semua peralatan tersebut berfungsi dengan baik.

Tabel 1. Alat dan Bahan

No	Alat Kerja	Bahan
1.	Mesin Pultrusi filamen	Cutter
2.	Gunting	Botol plastik bekas
3.	Pemanas ( <i>Hot gun</i> atau kompor)	
4.	Mesin <i>3D Printing Direct Extruder</i>	
5.	Jangka sorong	
6.	Laptop	
7.	Spidol	
8.	<i>Micro SD card</i>	

## 2.7. Pembuatan Filamen Botol Plastik

Siapkan botol bekas, buang plastik merek. Panaskan botol yang dalam keadaan tertutup menggunakan kompor atau *hotgun* untuk menjadikan permukaannya halus. Potong bagian alas yang terlalu berkerut menggunakan *cutter*. Selanjutnya ubah botol plastik menjadi sebuah pita dengan potongan lebar 8 mm bisa dilihat pada Gambar 5. Botol plastik dengan ukuran 500 ml bisa menghasilkan pita botol plastik dengan panjang kurang lebih 4,3 m.



Gambar 5. Pita Botol Plastik

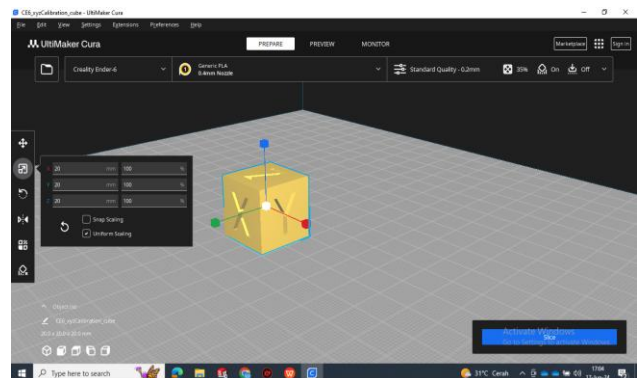
Pada bagian ujung pita botol plastik dibuat runcing untuk dimasukan ke dalam *nozzle* mesin pultrusi yang memiliki ukuran 1.75 mm. Hidupkan mesin pultrusi, lalu setting temperatur *nozzle* mencapai 115°C. Tarik ujung pita plastik lalu ikatkan ke penggulung. Hidupkan motor untuk menggulung pita botol plastik secara otomatis. Tunggu prosesnya hingga selesai menjadi filamen botol plastik dengan ukuran diameter 1.75 mm sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Filamen Botol Plastik Hasil Pultrusi

## 2.8. Proses pengambilan data

Data yang diperlukan pada penelitian ini adalah parameter temperatur *head*, temperature *bed* dan kecepatan pencetakan, karena hal ini yang biasa nampak pada *cover filament 3D Print*. Kubus kalibrasi pada Gambar 7 dicetak dari filamen BPET, beberapa variasi printer 3D diperlukan, tetapi hasil yang memuaskan dicapai pada temperatur *head* 256°C, temperatur *bed* 80°C dan kecepatan pencetakan 35mm/s. pernyataan ini menjadi rujukan untuk parameter awal.



Gambar 7. Tampilan Kubus Kalibrasi XYZ 20x20x20 mm



Pada Tabel 2 ditunjukkan variasi parameter untuk pengujian cetak filamen printer 3D botol plastik PET bekas.

Tabel 2. Variasi Parameter Printer 3D

No	Head Temperature (°C)	Bed Temperature (°C)	Base Print Speed (mm/s)
1	265	80	35
2	260	80	35
3	255	80	35
4	250	80	35
5	245	80	35
6	265	70	35
7	265	60	35
8	265	80	45
9	265	80	25

Proses pencetakan sampel dilakukan 2-3 kali, untuk memastikan bahwa produk benar-benar bisa dicetak menggunakan filamen daur ulang limbah botol.

### 2.8.1. Pengukuran Produk

Proses pengukuran pada benda dilakukan pada 3 sisi yakni X,Y, dan Z menggunakan kaliper digital dengan ketelitian 0.01mm. masing-masing sisi harus memiliki ukuran yang sama dengan desain 3D yakni 20x20x20 mm. **Analisis Cacat** dilakukan untuk mengetahui parameter yang paling minim terjadi cacat. Pada proses ini juga untuk memilah hasil print yang akan di uji kekasaran. Pengujian kekasaran menggunakan mesin semi-otomatis *Surfcom Touch 550* dilakukan di Laboratorium Metrologi Industri Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Nilai yang dicari adalah nilai Kekasaran Rata-rata ( $R_a$ ) dalam  $\mu m$ .

## 3. Hasil dan Pembahasan

Dari penelitian sebelumnya mengenai limbah botol plastik menjadi filamen menggunakan metode Pultrusi, Kubus kalibrasi XYZ dicetak hanya untuk menguji hasil filamen dari proses pultrusi, tidak mendalam terhadap pengaruh parameter, ukuran hasil cetak dan juga cacat pada hasil cetak. Dalam pembahasan ini penulis akan lebih mendalam terhadap pengaruh yang terjadi pada masing-masing parameter-nya. Melakukan pengukuran, menganalisis cacat secara visual, dan melakukan uji kekasaran permukaan.

### 3.1. Pengaruh Parameter Terhadap Hasil Cetak

#### 3.1.1 Pengaruh Temperatur *Nozzle*

Gambar 8 sampai dengan Gambar 12 menunjukkan pengaruh temperatur *nozzle* pada hasil cetak filamen botol plastik PET. Temperatur *nozzle* yang rendah menyebabkan hasil cetak yang kurang bagus karena filamen tidak meleleh dengan baik dan menyumbat *nozzle*. Pada temperatur 245°C (Gambar 12), hasil cetak tidak sesuai dengan bentuk yang diharapkan karena temperatur tidak stabil.

Temperatur *nozzle* yang tinggi menghasilkan produk yang baik dengan cacat minimal, karena *nozzle* mampu melelehkan filamen dengan baik. Hasil cetak terbaik terlihat pada temperatur 265°C (Gambar 8) dan 260°C (Gambar 9),

sementara pada 255°C (Gambar 10) hasilnya baik namun dengan sedikit cacat.



Gambar 8. Hasil Cetak Temperatur *Nozzle* 265°C, Temperatur *Bed* 80°C, dan *Speed* 35mm/s



Gambar 9. Hasil Cetak Temperatur *Nozzle* 260°C, Temperatur *Bed* 80°C, dan *Speed* 35mm/s



Gambar 10. Hasil Cetak Temperatur *Nozzle* 255°C, Temperatur *Bed* 80°C, dan *Speed* 35mm/s



Gambar 11. Hasil Cetak Temperatur *Nozzle* 250°C, Temperatur *Bed* 80°C, dan *Speed* 35mm/s



Gambar 12. Hasil Cetak Temperatur *Nozzle* 245°C, Temperatur *Bed* 80°C, dan *Speed* 35mm/s

### 3.1.2 Pengaruh Temperatur Bed

Perbedaan temperatur *bed* tidak begitu berpengaruh pada hasil cetak bisa dilihat pada Gambar 13 sampai Gambar 15, secara bentuk sudah baik. Dengan begitu perlu adanya perlakuan lebih lanjut seperti hasil pengukurannya, analisis cacat dan uji kekasaran.



Gambar 13. Hasil Cetak Temperatur *Nozzle* 265°C, Temperatur *Bed* 80°C, dan *Speed* 35mm/s



Gambar 14. Hasil Cetak Temperatur *Nozzle* 265°C, Temperatur *Bed* 70°C, dan *Speed* 35mm/s



Gambar 15. Hasil Cetak Temperatur *Nozzle* 265°C, Temperatur *Bed* 60°C, dan *Speed* 35mm/s

### 3.1.3 Pengaruh Speed

Pada Gambar 16 parameter *speed* 45mm/s terjadi cacat pada permukaan produk kemudian pada percobaan kedua hasilnya membaik secara bentuk dan visual. Pada Gambar 17 menunjukkan hasil cetak yang optimal dengan *speed* 35mm/s. Pada Gambar 18 parameter *speed* 25mm/s terjadi pada permukaan sisi X dan Y, layer terjadi *over-extrusion* hal itu karena kecepatannya terlalu rendah. Perlu adanya perlakuan lebih lanjut seperti hasil pengukurannya, analisis cacat dan uji kekasaran.



Gambar 16. Hasil Cetak Temperatur *Nozzle* 265°C, Temperatur *Bed* 80°C, dan *Speed* 45mm/s



Gambar 17. Hasil Cetak Temperatur *Nozzle* 265°C, Temperatur *Bed* 80°C, dan *Speed* 35mm/s



Gambar 18. Hasil Cetak Temperatur *Nozzle* 265°C, Temperatur *Bed* 80°C, dan *Speed* 25mm/s

## 3.2. Pengukuran Hasil Cetak

Pada setiap parameter dilakukan 2-3 kali pencetakan. Pengukuran dilakukan hanya pada sampel produk yang memiliki hasil bentuk yang baik. Pengukuran dilakukan pada 3 sisi yang diberi nama pada masing-masing sisi X, Y, dan Z. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan jangka sorong ketelitian 0.01mm.

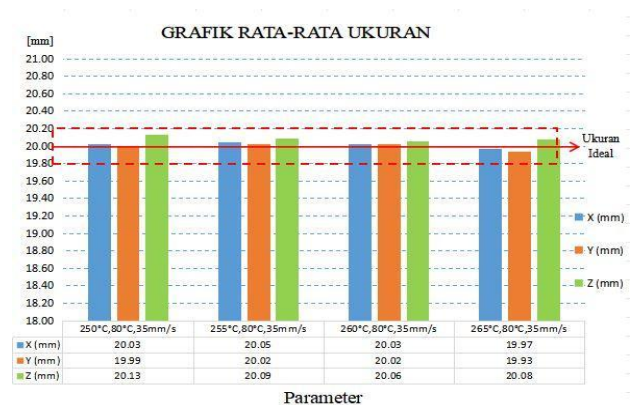
### 3.2.1. Pengaruh Temperatur Nozzle

Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran berdasarkan variasi temperatur *nozzle*. Pengukuran dilakukan pada hasil cetak yang relatif baik. Setiap parameter dilakukan pengukuran untuk tiga produknya dan kemudian diambil nilai rata-ratanya.

Tabel 3. Hasil Rata-rata Pengukuran Variasi Temperatur *Nozzle*.

Parameter			Ukuran (mm)		
<i>Nozzle temp.</i> (°C)	<i>Bed temp.</i> (°C)	<i>Speed</i> (mm/s)	X	Y	Z
265	80	35	19,97	19,93	20,08
260	80	35	20,03	20,02	20,06
255	80	35	20,05	20,02	20,09
250	80	35	20,03	20,02	20,06

Untuk mempermudah melihat hasil rata-rata pengukuran, dibuatlah sebuah grafik yang bisa dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Grafik Rata-rata Ukuran Produk Sebagai Pengaruh dari Temperatur *Nozzle*.



Pada Gambar 19 terlihat grafik rata-rata ukuran pengaruh temperatur *nozzle*. Garis merah menunjukkan ukuran ideal, kemudian garis kotak putus-putus menunjukkan area toleransi  $\pm 0.2\text{mm}$ . Dari gambar tersebut bisa dilihat bahwa semua parameter masih dalam area toleransi. Produk terbaik yang mendekati ukuran ideal yaitu pada temperatur *nozzle*  $260^\circ\text{C}$ , temperatur *bed*  $80^\circ\text{C}$ , dan *speed*  $35\text{mm/s}$ .

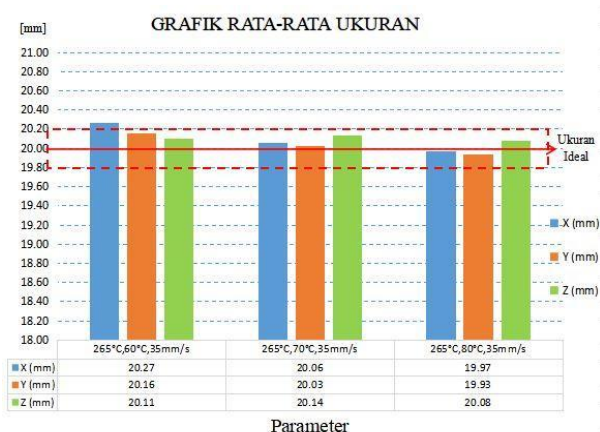
### 3.2.2. Pengaruh Temperatur Bed

Hasil pengukuran berdasarkan variasi temperatur *bed* ditunjukkan oleh Tabel 4 Pengukuran dilakukan pada hasil cetak yang relatif baik. Seperti halnya pada parameter sebelumnya, setiap parameter dilakukan pengukuran untuk tiga produknya dan kemudian diambil nilai rata-ratanya.

Tabel 4. Hasil Rata-rata Pengukuran Pengaruh Temperatur Bed

Parameter			Ukuran (mm)		
Nozzle temp. ( $^\circ\text{C}$ )	Bed temp. ( $^\circ\text{C}$ )	Speed (mm/s)	X	Y	Z
265	80	35	19,97	19,93	20,08
265	70	35	20,06	20,03	20,14
265	60	35	20,27	20,16	20,11

Untuk mempermudah melihat hasil rata-rata pengukuran, dibuatlah sebuah grafik yang bisa dilihat pada Gambar 20. Pada gambar tersebut terlihat grafik rata-rata ukuran dari variasi temperatur *bed*. Garis merah menunjukkan ukuran ideal, kemudian garis kotak putus-putus menunjukkan area toleransi  $\pm 0.2\text{mm}$ . Parameter terbaik yang mendekati ukuran ideal yaitu parameter temperature *nozzle*  $265^\circ\text{C}$ , temperatur *bed*  $80^\circ\text{C}$ , *speed*  $35\text{mm/s}$ . parameter yang melebihi area toleransi adalah parameter temperatur *nozzle*  $265^\circ\text{C}$ , temperatur *bed*  $60^\circ\text{C}$ , *speed*  $35\text{mm/s}$ .



Gambar 20. Grafik Rata-rata Ukuran Produk Sebagai Pengaruh dari Temperatur Bed.

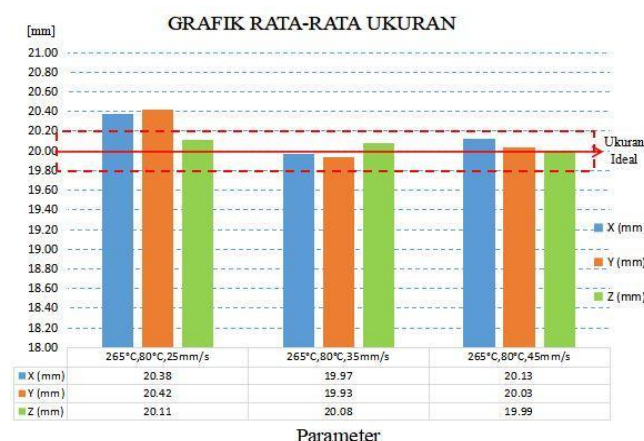
### 3.2.3. Pengaruh Speed

Pada Tabel 5 berikut merupakan hasil pengukuran berdasarkan pengaruh *speed*. Pengukuran dilakukan pada hasil cetak yang relatif baik dan diambil nilai rata-rata dari tiga kali pengukuran produk.

Tabel 5. Hasil Rata-rata Pengukuran Pengaruh Speed

Parameter			Ukuran (mm)		
Nozzle temp. ( $^\circ\text{C}$ )	Bed temp. ( $^\circ\text{C}$ )	Speed (mm/s)	X	Y	Z
265	80	45	20,13	20,03	19,99
265	80	35	19,97	19,93	20,08
265	80	25	20,38	20,42	20,11

Untuk mempermudah melihat hasil rata-rata pengukuran, dibuatlah sebuah grafik yang bisa dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Grafik Rata-rata Ukuran Produk Sebagai Pengaruh dari Speed.

Pada gambar 21 ditunjukkan grafik rata-rata ukuran. Garis merah menunjukkan ukuran ideal, kemudian garis kotak putus-putus menunjukkan area toleransi  $\pm 0.2\text{mm}$ . parameter terbaik yang mendekati ukuran ideal yaitu parameter temperatur *nozzle*, temperatur *bed*  $80^\circ\text{C}$ , dan *speed*  $35\text{mm/s}$ . Parameter yang melebihi batas toleransi atas yaitu parameter temperatur *nozzle*  $265^\circ\text{C}$ , temperatur *bed*  $80^\circ\text{C}$ , dan *speed*  $25\text{mm/s}$ . Titik leleh PET umumnya diantara  $250\text{--}260^\circ\text{C}$ .

### 3.3. Analisis Cacat Produk

Analisis cacat produk dinilai sangat penting untuk penelitian ini. Ada 6 jenis cacat produk *3D printing* yang sudah dijelaskan pada landasan teori. Pada Tabel 6 ditunjukkan analisis cacat secara visual pada setiap parameter. Dari data tersebut cacat yang paling dominan terjadi adalah *under and over-extrusion*, hal itu disebabkan karena kurang solidnya filamen pultrusi, dan juga diameter filamen lebih kecil tidak mencapai ukuran  $1.75\text{ mm}$ . Penyebab lain bisa pada direct extruder-nya yang kurang maksimal dalam mendorong filamen.

Cacat dominan yang kedua adalah *weak infill* hal itu disebabkan kurang tebalnya dinding atau permukaan desain yang dicetak, bisa juga disebabkan suhu *nozzle* tidak stabil naik turun, sehingga menyebabkan pelelehan pada filamen terhambat. Cacat dominan yang ketiga adalah *layer separation and splitting* dan hal ini disebabkan karena suhu *nozzle* yang tidak stabil, sehingga filamen tidak maksimal meleleh kemudian keluar dari *nozzle*. Hal tersebut menyebabkan layer per layer tidak menempel sempurna.

Tabel 6. Analisa cacat produk

No	Kategori cacat						
	Under and over-extrusion	Stringing (Hairy Prints)	Layer separation and splitting	Blobs and zits on the surface	Curling and Rough Corners	Weak infill	Gaps between the infill and outline
A1	-	-	-	-	-	-	-
A2	v	-	-	-	-	v	-
A3	v	-	-	-	-	v	-
B1	-	-	-	-	-	-	-
B2	v	-	-	v	-	v	-
B3	v	-	v	-	-	v	-
C1	v	-	v	-	-	v	-
C2	-	-	v	-	-	v	-
C3	v	-	v	-	-	v	-
D1	v	-	v	-	-	v	-
D2	v	v	v	v	v	v	v
D3	v	-	v	-	-	v	-
E1	v	v	v	v	v	v	v
F1	-	-	-	-	-	-	-
F2	v	-	-	-	-	-	-
G1	v	-	v	-	-	-	-
G2	v	-	v	-	-	-	-
H1	v	-	v	-	-	v	-
H2	v	-	-	-	-	v	-
I1	v	-	v	-	-	v	-
I2	v	-	v	-	-	v	-

Dari Tabel 6 parameter dengan hasil yang baik, tidak memiliki cacat adalah A1, B1, dan F1, bisa juga ditambahkan dengan cacat yang paling sedikit dan tidak begitu parah adalah F2, A2, A3 dan H2.

### 3.4. Pengujian Kekasaran Permukaan

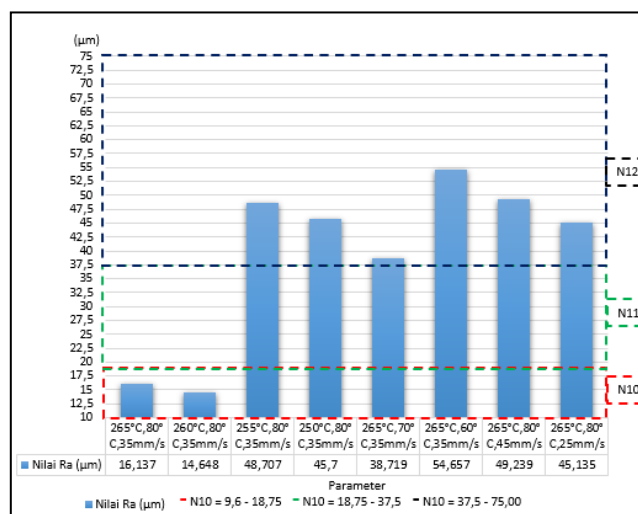
Pengujian kekasaran menggunakan mesin *Surfometer* yang di dalamnya digunakan jarum untuk mengukur variasi ketinggian pada permukaan. Pengujian kekasaran ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kekasaran pada permukaan hasil cetak 3D filamen botol plastik PET. Pengujian dilakukan pada semua hasil produk yang memiliki bentuk yang relatif baik. Produk yang diuji adalah produk yang memiliki cacat paling minimal dari hasil analisis cacat. Dari pengujian kekasaran didapatkan nilai  $R_a$  (Kekasaran Rata-rata) yang bisa dilihat pada Tabel 7. Hasil ini merupakan rata-rata dari dua kali pengujian.

Tabel 7. Nilai Rata-rata Uji Kekasaran

Parameter			Nilai $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )
Nozzle temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	Bed temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	Speed (mm/s)	
265	80	35	16,137
260	80	35	14,648
255	80	35	48,707
250	80	35	45,700
265	70	35	38,719
265	60	35	54,657
265	80	45	49,239
265	80 $^{\circ}\text{C}$	25	45,135

Dari Tabel 7 selanjutnya akan diketahui kelas kekasaran dari setiap parameter. harga kekasaran rata-rata aritmatik  $R_a$  juga mempunyai harga toleransi kekasaran. harga kekasaran mempunyai kelas kekasaran yaitu dari N1 sampai N12. Jika dilihat dari tabel 7 maka kelas kekasarannya diantara N10 sampai N12. Masing-masing memiliki harga  $R_a$  N10 = 12,5 $\mu\text{m}$  dengan toleransi 9,6 – 18,75 $\mu\text{m}$ , N11 = 25 $\mu\text{m}$  dengan toleransi 18,75 – 37,5 $\mu\text{m}$ , N12 = 50 $\mu\text{m}$  dengan toleransi 37,5 – 75 $\mu\text{m}$ .

Untuk mempermudah melihat Kelas Kekasaran pada setiap parameter, dibuatlah sebuah grafik yang bisa dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Grafik Kelas Kekasaran Permukaan



Pada Gambar 22 menunjukkan kelas kekasaran pada setiap parameter berdasarkan uji kekasaran yang sudah dilakukan. Parameter yang memiliki kelas kekasaran N10 ada dua yakni temperatur *nozzle* 265°C, temperatur *bed* 80°C, *speed* 35mm/s dan temperatur *nozzle* 260°C, temperatur *bed* 80°C, dan *speed* 35mm/s. Tidak ada parameter yang memiliki kelas kekasaran N11.

Enam parameter menunjukkan memiliki kelas kekasaran N12 yakni temperatur *nozzle* 255°C, temperatur *bed* 80°C, *speed* 35mm/s, temperatur *nozzle* 250°C, temperatur *bed* 80°C, dan *speed* 35mm/s, temperatur *nozzle* 265°C, temperatur *bed* 70°C, dan *speed* 35mm/s, temperatur *nozzle* 265°C, temperatur *bed* 60°C, dan *speed* 35mm/s, temperatur *nozzle* 265°C, temperatur *bed* 80°C, dan *speed* 45mm/s, temperatur *nozzle* 265°C, temperatur *bed* 80°C, dan *speed* 25mm/s.

#### 4. Kesimpulan

Mengubah botol plastik bekas menjadi filamen dengan metode pultrusi terbukti menjadi alternatif daur ulang untuk botol plastik. Filamen yang dihasilkan dari metode ini mampu untuk digunakan pada mesin *3D printing*. Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini adalah bahwa pengamatan visual menunjukkan temperatur *head* sangat mempengaruhi kualitas hasil cetak filamen dari botol plastik PET, dengan suhu *nozzle* 245-250°C kurang optimal. Parameter terbaik yang mendekati ukuran ideal ditemukan pada suhu *nozzle* 260°C dan 265°C, temperatur *bed* 80°C, dan *speed* 35 mm/s. Cacat dominan yang muncul adalah *under and over-extrusion*, *weak infill*, serta *layer separation and splitting*. Parameter dengan cacat paling minimal adalah suhu *nozzle* 265°C dan 260°C dengan suhu *bed* 80°C, serta suhu *nozzle* 265°C dengan suhu *bed* 70°C, ketiganya pada kecepatan 35 mm/s. Hasil dengan kekasaran terendah termasuk kelas kekasaran N10, yaitu temperatur *nozzle* 265°C dan temperatur *bed* 80°C dengan  $R_a = 16,137 \mu\text{m}$ , serta temperatur *nozzle* 260°C dan temperatur *bed* 80°C dengan  $R_a = 14,648 \mu\text{m}$ .

#### Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra atas dukungannya selama pelaksanaan penelitian, dan *Wirantara 3D Workshop* untuk penggunaan fasilitas mesin printer 3D nya.

#### Daftar Pustaka

- [1] Rahmatullah, I. (2023). Pelatihan Implementasi Pemilahan Sampah Plastik Di Sdn 001 Samarinda Utara. *Jurnal Pengabdian Kreativitas Pendidikan Mahakam (JPKPM)*, 3(1), 124-126.
- [2] Nurhanisah, Yuli. "Berapa lama sampah plastik bisa terurai". 2022. [indonesiabaik.id/infografis/berapa-lama-sampah-plastik-bisa-terurai](https://indonesiabaik.id/infografis/berapa-lama-sampah-plastik-bisa-terurai)
- [3] Suci, Nisa Permata, Siti Janiroh, and Mohammad Amin Tohari. 2021. "Pengembangan Kreatifitas Masyarakat Dengan Mendaur Ulang Sampah Plastik." *Jurnal UMJ 4*
- [4] Luthfiyah, A., Rahayu, T. E., Hayati, S. W., Bahri, S., & Nurhilal, M. (2024). Analisis Kualitas Produk dan Efisiensi Energi Antara Mesin Daur Ulang Limbah Plastik Pemanas Band Heater dan Induksi. *Infotekmesin*, 15(2), 262-268.
- [5] 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.
- [6] Mikula, K., Skrzypczak, D., Izydorczyk, G., Warchoń, J., Moustakas, K., Chojnacka, K., & Witek-Krowiak, A. 3D printing filament as a second life of waste plastics—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 2021. 12321-12333.
- [7] Minchenkov, Kirill, Alexander Vedernikov, Alexander Safonov, and Iskander Akhatov. "Thermoplastic Pultrusion: A Review." *Polymers* 13(2):1–36. 2021. doi: 10.3390/polym13020180.
- [8] Nikam, M., Pawar, P., Patil, A., Patil, A., Mokul, K., & Jadhav, S. (2024). Sustainable fabrication of 3D printing filament from recycled PET plastic. *Materials Today: Proceedings*, 103, 115-125.
- [9] Prihadianto, B. D., Darmo, S., Hasan, D. A., & Ananda, D. N. (2023). Analisis Kekuatan Tarik dan Regangan Filamen Carbon Fiber Hasil 3D Print dengan Variasi Fill Density. *Infotekmesin*, 14(2), 390-396.
- [10] Tylman, Igor, and Kazimierz Dzierżek. "Filament for a 3D Printer from Pet Bottles-Simple Machine." *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research* 9.10. 2020: 1386-1392.
- [11] Hakim, Rahman, et al. "Pengaruh temperatur nozzle dan base plate pada material PLA terhadap nilai masa jenis dan kekasaran permukaan produk pada mesin Leapfrog Creatr 3D Printer." *Jurnal Teknologi Dan Riset Terapan (JATRA)* 1.1 (2019).
- [12] Khumaydi, A. Z. (2019). *Perancangan Dan Analisis Mesin Pengolah Limbah Plastik Pet Dengan Metode Extruder Sebagai Penghasil Pellet* (Doctoral Dissertation, Universitas Mercu Buana).
- [13] Sonjaya, M. L., Mutmainnah, M., & Hidayat, M. F. (2022). Construction of Plastic Waste Extruding Machine to Produce Filaments of 3D Printing Machine. *Int. J. Mech*, 16, 82-90.
- [14] Taufik, Muhammad, Gita Suryani Lubis, and Muhammad Ivanto. "Rancang Bangun Mesin Pultrusion Pembuat Filamen 3D Printing Berbasis Limbah Plastik Botol PET." *JTRAIN: Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin* 4.1. 2023 : 01-08.
- [15] Tondi, Haqira. "Rancang Bangun Mesin Ekstruder Filamen 3D Printer". 2019. (Skripsi Sarjana, Universitas Islam Indonesia)
- [16] Anggraini, Hari Dwi. "Peran Teknologi 3D Printing dalam Manufaktur Komponen Mesin." *WriteBox* 1.1 (2023).
- [17] Chen, Aaron. 5 things to learn on Extruder – Core part of a 3D printer. 2019. Retrieved from <https://www.cmac.com.au>.
- [18] Priambodo, Kuku. "Desain Sistem Kontrol Suhu Hot Bed Menggunakan Kontroler PID Pada Printer 3D Berbasis Arduino Uno". 2019. (Skripsi Sarjana, Universitas Brawijaya).
- [19] Cahyono, G. R., Ibrahimi, J., Ansyah, P. R., & Wibowo, S. H. Pengaruh Print Speed Extruder dan Height Layer terhadap Kekuatan Tekan dan Foto Makro pada Hasil 3D Printing. *Buletin Profesi Insinyur*, 5(1), 2022, 9-15
- [20] Erokhin K, Naumov S, Ananikov V. Defects in 3D Printing and Strategies to Enhance Quality of FFF Additive Manufacturing. A Review. *ChemRxiv*. 2023; doi:10.26434.
- [21] Sunyapa, B. Analisis variansi proses milling cnc terhadap kekasaran permukaan baja st41 dengan metode taguchi. 2016. Jember: (Skripsi Sarjana, Universitas Jember).
- [22] Yudha, Yudha Bika Pratama. 2021. Analisis Kekasaran Permukaan Proses Mesin 3D Printng Pada Filamen St-Pla Menggunakan Metode Taguchi. (Skripsi Sarjana, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung).