

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Racang Bangun Alat Perata Permukaan Botol

Alat ini dirancang bangun sebagai tahap perlakuan awal dalam proses pembuatan filamen. Penelitian ini tidak memodifikasi alat utama pembuat filamen, melainkan merancang bangun alat bantu untuk perataan permukaan botol PET sebelum proses penyayatan. Perancangan alat ini bertujuan untuk mengatasi ketidakrataan permukaan botol, sehingga mata pisau penyayat dapat bekerja lebih stabil. Dengan demikian, proses penyayatan dapat berlangsung lebih optimal dan filamen yang dihasilkan memiliki kualitas yang lebih baik serta lebih seragam.

4.1.1 Alat Penyayat Botol

Alat penyayat botol berfungsi untuk memotong botol plastik PET menjadi lembaran awal sebelum diproses menjadi filamen. Botol dijepit pada dudukan dan diputar agar mata pisau menyayat permukaannya secara spiral hingga membentuk lembaran tipis.

Pada botol yang memiliki lekukan atau profil tidak rata, mata pisau penyayat tidak dapat mengikuti bentuk permukaan secara konsisten, sehingga hasil sayatan menjadi tidak rata dan filamen yang dihasilkan dari proses selanjutnya menjadi putus-putus atau tidak konsisten

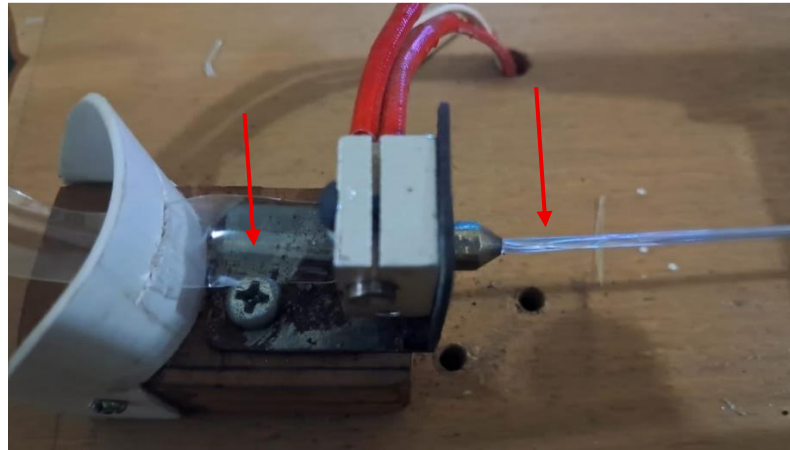


Gambar 4.1 Alat sayatan botol

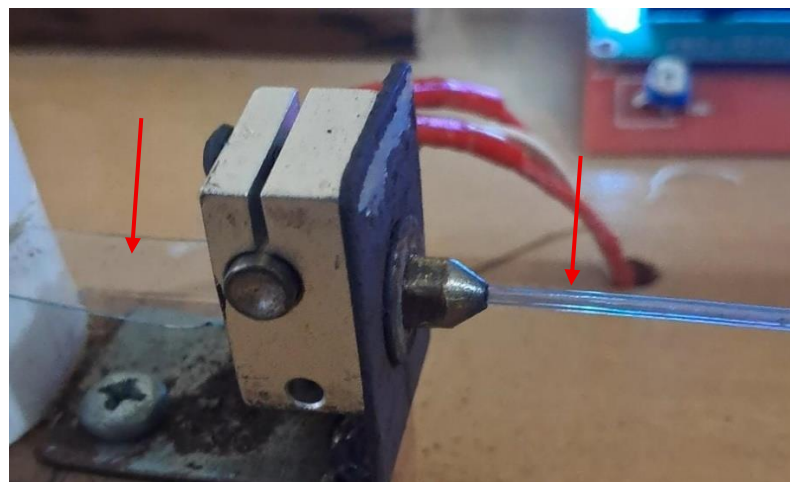
4.1.2 Alat Pembuat Filamen

Alat pembuat filamen memproses sayatan botol menjadi filamen 3D printing. Botol yang telah disayat dimasukkan ke dalam alat, kemudian dipanaskan, ditekan, dan ditarik melalui ekstrusi hingga membentuk filamen plastik.

Masalah ketidakseragaman pada sayatan menyebabkan filamen memiliki ketebalan tidak seragam, sering putus, dan kadang diameternya berubah saat proses ekstrusi. Kondisi ini menurunkan efisiensi produksi filamen dan mengurangi kualitas bahan baku.



(a)



(b)

Gambar 4.2 Proses pembuatan filamen sebelum diratakan (a), proses pembuatan filamen setelah diratakan

4.1.3 Alat Perata Permukaan Botol Plastik

Untuk mengatasi permasalahan sayatan yang tidak rata akibat lekukan pada botol, dilakukan perancangan bangun alat bantu pemerataan permukaan botol. Alat ini bekerja dengan melunakkan permukaan botol melalui pemanasan air di dalam tabung pemanas serta memberikan tekanan udara, sehingga permukaan botol menjadi lebih rata sebelum proses penyayatan dilakukan.

Permukaan botol yang telah rata memungkinkan mata pisau penyayat mengikuti kontur secara lebih stabil, sehingga filamen yang dihasilkan menjadi lebih seragam. Alat pemerataan ini dirancang terpisah dari alat utama pembuat filamen, namun berfungsi sebagai pendukung untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas pada proses penyayatan.

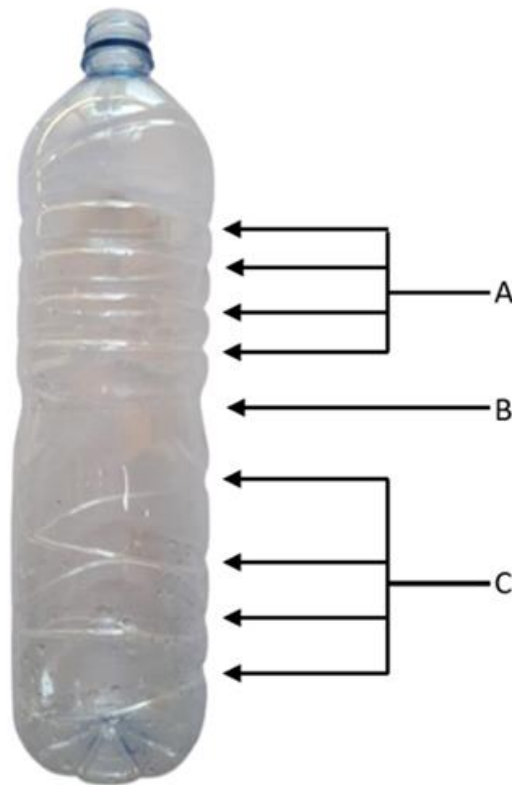


Gambar 4.3 Alat perata permukaan botol

4.2 Hasil dan Pembahasan Pemerataan Botol

4.2.1 Tabel Hasil Pemerataan Permukaan Botol Plastik

Sebelum proses pemerataan, setiap botol plastik PET ukuran 1,5 liter diukur diameter lekukannya pada beberapa titik untuk mengetahui kondisi awal permukaan botol. Titik pengukuran ditandai pada area botol yang memiliki lekukan berbeda, yaitu titik A, B, dan C. Hasil pengukuran awal menunjukkan variasi diameter sebagai berikut:



Gambar 4.4 Titik lekukan awal botol

Keterangan diameter botol :

A = 82 mm

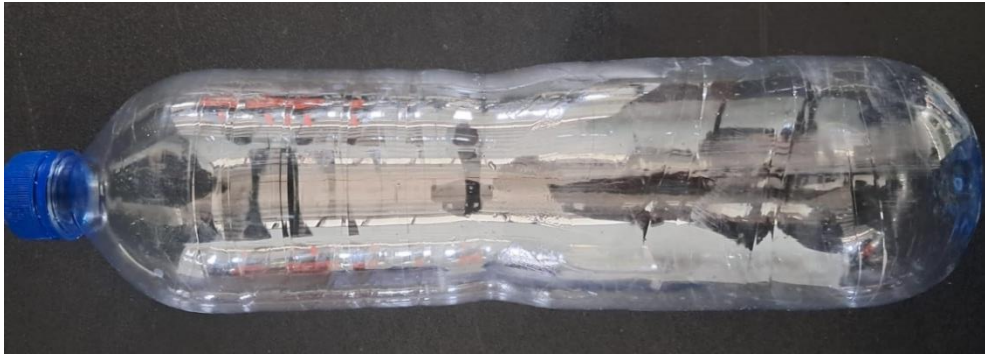
B = 79 mm

C = 84,1mm

Setelah dilakukan pengujian terhadap botol plastik bekas ukuran aqua 1,5 liter dengan lekukan yang bervariasi, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil Perataan Permukaan Botol Plastik

No	Suhu (°C)	Tekanan (bar)	Waktu (menit)	Titik Ukur	Sumbu X Sesudah (mm)			
1	80	2	2	A	86,9			
				B	82,8			
				C	88,1			
			3	A	87			
					B	83,5		
					C	88,3		
				4	A	87,4		
					B	83,8		
					C	88,4		
			2	80	2.5	2	A	87,6
							B	84
							C	88,5
3	A	88,5						
		B				84,5		
		C				88,5		
	4	A				88,5		
		B				84,6		
		C				88,5		
3	80	3				2	A	88,5
							B	85,1
							C	88,5
			3	A	88,5			
					B	85,3		
					C	88,5		
				4	A	88,5		
					B	85,4		
					C	88,5		



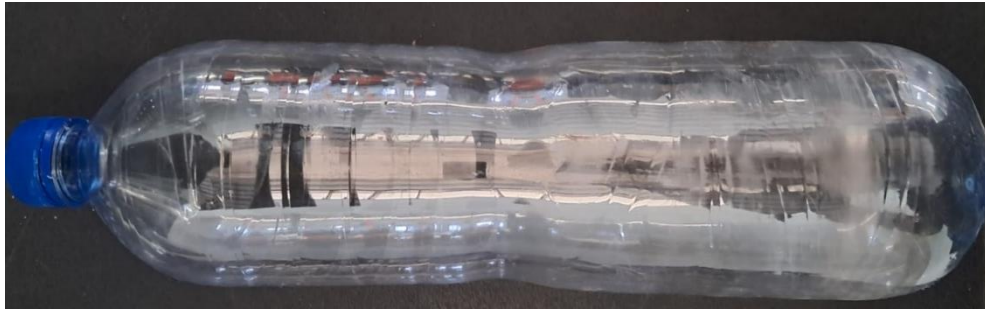
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4.5 Hasil perataan permukaan botol PET pada suhu 80 °C
Tekanan 2 bar, waktu 2 menit (a), tekanan 2 bar, waktu 3 menit (b), Tekanan 2 bar, waktu 4 menit (c), tekanan 2,5 bar, waktu 2 menit (d), Tekanan 2,5 bar, waktu 3 menit (e)



(i)



(h)



(g)



(f)

Gambar 4.6 Hasil perataan permukaan botol PET pada suhu 80 °C
Tekanan 2,5 bar, waktu 4 menit (f), tekanan 3 bar, waktu 2 menit (g), Tekanan 3 bar, waktu
3 menit (h),tekanan 3 bar, waktu 4 menit (i)

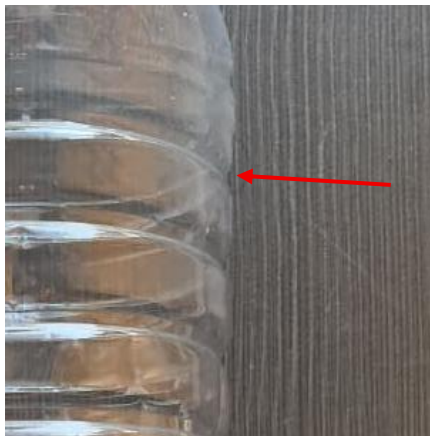
4.2.2 Karakteristik Visual Botol Setelah Dilakukan Pemerataan



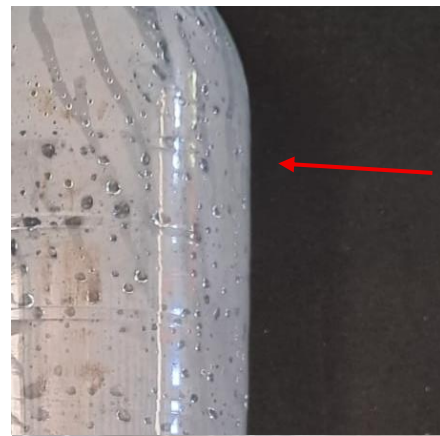
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.7 Botol sebelum pemerataan (a), botol sesudah pemerataan (b), crop botol sebelum pemerataan(c), crop botol sesudah pemerataan(d)

Hasil permukaan botol setelah melalui proses pemerataan dapat dilihat pada Gambar 4.1(b) dan (d). Secara visual, botol menunjukkan perubahan bentuk yang signifikan dibandingkan sebelum perlakuan. Adapun karakteristik hasil pemerataan sebagai berikut:

1. Permukaan botol menjadi lebih rata dan halus, terutama pada bagian lekukan yang sebelumnya tidak simetris. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan udara dan panas yang diberikan mampu melunakkan dinding botol dan mengembalikannya ke bentuk semula.
2. Tidak terlihat adanya kerutan atau lekukan tajam seperti pada botol sebelum proses pemerataan. Permukaan tampak lebih mulus dan seragam di sepanjang tubuh botol.
3. Bentuk botol tampak lebih silindris dan proporsional, menunjukkan bahwa proses pemerataan berjalan efektif dengan parameter suhu dan tekanan yang sesuai.

4.2.3 Analisa Hasil Perataan Botol

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh bahwa faktor suhu, tekanan udara, waktu pemanasan, serta penggunaan cetakan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efektivitas proses pemerataan lekukan pada botol plastik PET.

1. Pengaruh Suhu:

Suhu merupakan faktor utama dalam proses pemerataan botol. Pada suhu 70 °C, material PET belum cukup lunak sehingga lekukan masih terlihat dan hasil pemerataan kurang optimal. Sementara itu, pada suhu 80 °C material mulai melunak sehingga proses pemerataan berlangsung lebih

efektif. Hal ini ditunjukkan dengan nilai simpangan baku yang relatif lebih kecil, yang menandakan tingkat keseragaman diameter yang lebih baik.

2. Pengaruh Tekanan Udara:

Tekanan udara berpengaruh terhadap kemampuan meratakan permukaan botol. Pada tekanan 2 bar, diperoleh nilai simpangan baku sekitar 2,30–2,46 mm, yang menunjukkan bahwa hasil pemerataan masih kurang seragam.

Pada tekanan 2,5 bar, nilai simpangan baku menurun menjadi sekitar 1,96–2,31 mm, yang menandakan peningkatan keseragaman diameter botol.

Pada tekanan 3 bar, diperoleh nilai simpangan baku paling kecil yaitu sekitar 1,79–1,85 mm, yang menunjukkan bahwa hasil pemerataan botol menjadi paling seragam dibandingkan variasi tekanan lainnya.

3. Pengaruh Waktu Pemanasan:

Waktu pemanasan memengaruhi distribusi panas pada permukaan botol.

Pada waktu 2 menit, pemerataan belum maksimal karena panas belum merata sempurna.

Pada waktu 3 menit, diperoleh hasil pemerataan yang cukup baik dengan simpangan baku yang mulai menurun.

Pada waktu 4 menit, khususnya pada tekanan yang lebih tinggi, distribusi panas menjadi lebih merata sehingga menghasilkan diameter yang lebih seragam, ditunjukkan dengan nilai simpangan baku yang lebih kecil.

4. Kondisi Optimum:

Berdasarkan hasil analisis, kondisi optimum pemerataan botol PET diperoleh pada suhu 80 °C, tekanan 3 bar, dan waktu pemanasan 4 menit.

Pada kondisi ini diperoleh nilai rata-rata diameter sebesar 87,47 mm dengan simpangan baku sebesar 1,79 mm, yang merupakan nilai simpangan baku terkecil dibandingkan variasi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa diameter botol pada titik A, B, dan C menjadi lebih seragam, bentuk botol lebih proporsional, dan permukaan botol tetap halus tanpa mengalami kerusakan material.

4.2.4 Kalkulasi Persentase Perubahan Diameter

Dasar perhitungan digunakan untuk menentukan keseragaman diameter botol hasil proses pemerataan, yang dianalisis menggunakan rata-rata diameter dan simpangan baku.

Rata-rata diameter dihitung dari diameter akhir botol pada tiga titik pengukuran (A, B, dan C) menggunakan persamaan:

$$\bar{D} = \frac{D_A + D_B + D_C}{3}$$

Keterangan :

\bar{D} = Diameter rata-rata (mm)

D_A, D_B, D_C = Diameter pada titik A, B, dan C (mm)

Rumus simpangan baku (populasi) — menilai keseragaman hasil pada titik A, B, C:

$$S = \sqrt{\frac{(D_A - \bar{D})^2 + (D_B - \bar{D})^2 + (D_C - \bar{D})^2}{n - 1}}$$

Keterangan :

s = Simpangan baku (mm)

\bar{D} = Diameter rata-rata (mm)

n = Jumlah titik pengukuran, yaitu 3 (titik A, B, dan C)

1. Variasi 1 (80 °C, tekanan 2 bar, waktu 2 menit)

$$D_A = 86,9 \text{ mm}, D_B = 82,8 \text{ mm}, D_C = 88,1 \text{ mm}$$

Rata-rata diameter:

$$\bar{D} = \frac{8,30 + 7,91 + 8,79}{3} = 8,33 \text{ cm}$$

Simpangan baku:

$$s = \sqrt{\frac{(86,9 - 85,93)^2 + (82,8 - 85,93)^2 + (88,1 - 85,93)^2}{3 - 1}}$$

$$s = 2,78 \text{ mm}$$

2. Variasi 2 (80 °C, tekanan 2 bar, waktu 3 menit)

$$D_A = 87 \text{ mm}, D_B = 83,5 \text{ mm}, D_C = 88,3 \text{ mm}$$

Rata-rata diameter:

$$\bar{D} = \frac{87 + 83,5 + 88,3}{3} = 86,27 \text{ mm}$$

Simpangan baku:

$$s = \sqrt{\frac{(87 - 86,27)^2 + (83,5 - 86,27)^2 + (88,3 - 86,27)^2}{3 - 1}}$$

$$s = 2,46 \text{ mm}$$

3. Variasi 3 (80 °C, tekanan 2 bar, waktu 4 menit)

$$D_A = 87,4 \text{ mm}, \quad D_B = 83,8 \text{ mm}, \quad D_C = 88,4 \text{ mm}$$

Rata-rata diameter:

$$\bar{D} = \frac{87,4 + 83,8 + 88,4}{3} = 86,53 \text{ mm}$$

Simpangan baku:

$$s = \sqrt{\frac{(87,4 - 86,53)^2 + (83,8 - 86,53)^2 + (88,4 - 86,53)^2}{3 - 1}}$$

$$s = 2,45 \text{ mm}$$

4. Variasi 4 (80 °C, tekanan 2,5 bar, waktu 2 menit)

$$D_A = 87,6 \text{ mm}, \quad D_B = 84 \text{ mm}, \quad D_C = 88,5 \text{ mm}$$

Rata-rata diameter:

$$\bar{D} = \frac{87,6 + 84 + 88,5}{3} = 86,70 \text{ mm}$$

Simpangan baku:

$$s = \sqrt{\frac{(87,6 - 86,70)^2 + (84 - 86,70)^2 + (88,5 - 86,70)^2}{3 - 1}}$$

$$s = 2,30 \text{ mm}$$

5. Variasi 5 (80 °C, tekanan 2,5 bar, waktu 3 menit)

$$D_A = 88,5 \text{ mm}, \quad D_B = 84,5 \text{ mm}, \quad D_C = 88,5 \text{ mm}$$

Rata-rata diameter:

$$\bar{D} = \frac{88,5 + 84,5 + 88,5}{3} = 87,17 \text{ mm}$$

Simpangan baku:

$$s = \sqrt{\frac{(88,5 - 87,17)^2 + (84,5 - 87,17)^2 + (88,5 - 87,17)^2}{3 - 1}}$$

$$s = 2,31 \text{ mm}$$

6. Variasi 6 (80 °C, tekanan 2,5 bar, waktu 4 menit)

$$D_A = 88,5 \text{ mm}, \quad D_B = 84,6 \text{ mm}, \quad D_C = 88,5 \text{ mm}$$

Rata-rata diameter:

$$\bar{D} = \frac{88,5 + 84,6 + 88,5}{3} = 87,20 \text{ mm}$$

Simpangan baku:

$$s = \sqrt{\frac{(88,5 - 87,20)^2 + (84,6 - 87,20)^2 + (88,5 - 87,20)^2}{3 - 1}}$$

$$s = 2,25 \text{ mm}$$

7. Variasi 7 (80 °C, tekanan 3 bar, waktu 2 menit)

$$D_A = 88,5 \text{ mm}, \quad D_B = 85,1 \text{ mm}, \quad D_C = 88,5 \text{ mm}$$

Rata-rata diameter:

$$\bar{D} = \frac{88,5 + 85,1 + 88,5}{3} = 87,37 \text{ mm}$$

Simpangan baku:

$$s = \sqrt{\frac{(88,5 - 87,37)^2 + (85,1 - 87,37)^2 + (88,5 - 87,37)^2}{3 - 1}}$$

$$s = 1,96 \text{ mm}$$

8. Variasi 8 (80 °C, tekanan 3 bar, waktu 3 menit)

$$D_A = 88,5 \text{ mm}, \quad D_B = 85,3 \text{ mm}, \quad D_C = 88,5 \text{ mm}$$

Rata-rata diameter:

$$\bar{D} = \frac{88,5 + 85,3 + 88,5}{3} = 87,43 \text{ mm}$$

Simpangan baku:

$$s = \sqrt{\frac{(88,5 - 87,43)^2 + (85,3 - 87,43)^2 + (88,5 - 87,43)^2}{3 - 1}}$$

$$s = 1,85 \text{ mm}$$

9. Variasi 9 (80 °C, tekanan 3 bar, waktu 4 menit)

$$D_A = 88,5 \text{ mm}, \quad D_B = 85,4 \text{ mm}, \quad D_C = 88,5 \text{ mm}$$

Rata-rata diameter:

$$\bar{D} = \frac{88,5 + 85,4 + 88,5}{3} = 87,47 \text{ mm}$$

Simpangan baku:

$$s = \sqrt{\frac{(88,5 - 87,47)^2 + (85,4 - 87,47)^2 + (88,5 - 87,47)^2}{3 - 1}}$$

$$s = 1,79 \text{ mm}$$

4.3 Kinerja dan Manfaat Alat yang Dirancang Bangun

Perancangan dan pembangunan alat pemerataan permukaan botol ini memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan kualitas dan efisiensi proses pembuatan filamen. Berdasarkan pengujian dan pengamatan, beberapa manfaat utama dari penggunaan alat ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Diameter botol menjadi lebih seragam, karena permukaan botol diratakan sehingga proses penyayatan dapat berlangsung lebih stabil.
2. Proses penyayatan menjadi lebih efisien, karena mata pisau tidak perlu menyesuaikan dengan lekukan permukaan botol.
3. Kualitas filamen meningkat, yang ditandai dengan hasil sayatan lebih halus, diameter lebih konsisten, serta filamen tidak mudah putus.
4. Efisiensi kerja meningkat, karena berkurangnya jumlah botol yang gagal disayat akibat permukaan yang tidak rata.

Hasil uji coba menunjukkan bahwa botol yang semula memiliki permukaan berlekuk dapat diubah menjadi lebih silindris dengan alat ini. Dengan permukaan botol yang rata, mata pisau penyayat bekerja secara lebih stabil, menghasilkan filamen dengan ketebalan yang konsisten, sehingga meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi secara keseluruhan.

4.4 Hasil dan Pembahasan Sayatan Botol



(a)



(b)



(c)



(d)

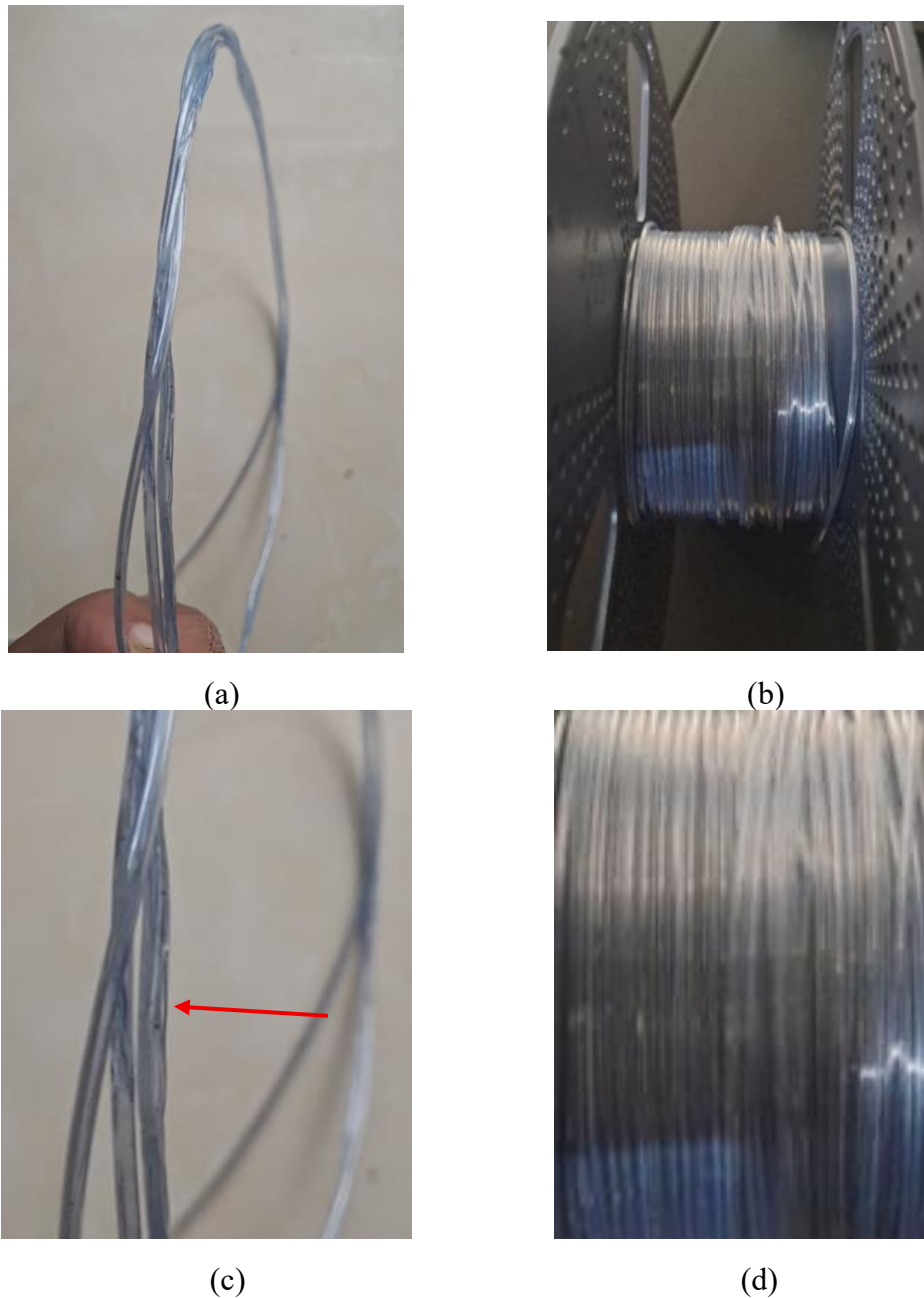
Gambar 4.8 Sayatan dari botol sebelum pemerataan (a), sayatan dari botol sudah pemerataan (b), *crop* sayatan dari botol sebelum pemerataan(c), *crop* sayatan dari botol sudah pemerataan(d)

Hasil penyayatan botol plastik PET setelah melalui proses pemerataan ditunjukkan pada Gambar 4.7(b) dan (d). Permukaan sayatan menunjukkan perubahan signifikan dibanding kondisi awal, menandakan bahwa proses pemerataan berhasil melunakkan dinding botol dan mengurangi tegangan sisa.

Hasil dan analisis:

1. Kestabilan dan kelurusan sayatan: Sayatan menjadi lebih rata, halus, dan lurus, terutama pada bagian yang sebelumnya melengkung. Hal ini menunjukkan bahwa mata pisau mengikuti permukaan botol secara stabil, sehingga pita dapat digulung tanpa melintir, permukaan tetap fleksibel, dan material PET berada dalam kondisi termoplastis ideal.
2. Keseragaman lebar dan bentuk pita: Lebar sayatan berada pada kisaran 9–11 mm, lebih konsisten dibanding sebelumnya (7–11 mm), menandakan distribusi ketebalan dan kelunakan dinding botol yang merata. Tidak tampak gelombang atau lekukan tajam, sehingga pita lebih stabil dan siap digunakan pada tahap penggulungan maupun ekstrusi menjadi filamen PET.

4.5 Hasil dan Pembahasan Pembuatan Filamen



Gambar 4.9 Filamen dari botol sebelum pemerataan (a), filamen dari botol sudah pemerataan (b), *crop* filamen dari botol sebelum pemerataan (c), *crop* filamen dari botol sudah pemerataan (d)

Hasil proses pembuatan filamen dari botol plastik merek Aqua ukuran 1,5 liter menunjukkan perbedaan jelas antara bahan yang telah diratakan dengan bahan yang belum melalui proses pemerataan. Filamen yang dihasilkan dari botol yang

telah diratakan memiliki kualitas fisik yang lebih baik.

1. Konsistensi diameter filamen: Filamen yang dihasilkan lebih seragam dan tidak terdapat cekungan atau lubang (gompel), karena permukaan botol yang telah diratakan menghilangkan lekukan. Hal ini memastikan aliran material selama proses pembentukan berjalan lancar.
2. Kelancaran proses pembentukan: Proses pembuatan filamen lebih stabil dan tidak mudah putus, karena perbedaan ketebalan atau sayatan pada botol awal telah diminimalkan. Dengan permukaan botol yang rata, gaya pembentukan dan penarikan material menjadi seimbang, sehingga filamen memiliki kualitas tinggi dan bentuk konsisten.