

KARAKTERISTIK FILAMENT HASIL EKSTRUSI DENGAN BAHAN ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE, POLYPROPYLENE, DAN NYLON 6

Tri Arfianto^a, Aris Widyo Nugroho^b, Cahyo Budiantoro^c

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

[a, \[b<nugrohoaris@gmail.com>\]\(mailto:nugrohoaris@gmail.com\), \[c<cahyobudi@umy.ac.id>\]\(mailto:cahyobudi@umy.ac.id\)](mailto:triarfian@gmail.com)

Abstrak

Saat ini perkembangan teknologi semakin meningkat. Salah satu teknologi yang sedang berkembang yaitu teknologi printer 3 dimensi. Salah satu printer 3 dimensi yaitu filament. Filament merupakan plastik yang diekstrusi. Filament yang digunakan pada umumnya yaitu berdiameter 1,75 mm. Plastik atau polimer pada saat ini semakin banyak digunakan bahkan telah menggantikan material kayu dan logam. Produk-produk berbahan plastik sudah banyak digunakan pada produk rumah tangga hingga otomotif. Plastik banyak digunakan karena plastik memiliki sifat yang ringan dan mudah dibentuk. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja mesin ekstruder dan mengetahui karakterisasi hasil ekstrusi dengan melakukan pengukuran diameter, densitas, dan foto struktur mikro. Mesin ekstruder yang digunakan memiliki kapasitas 247,22 gram, putaran screw sebesar 23,33 Rpm dengan daya motor listrik 0,5 Hp dan memiliki 4 heater masing-masing memiliki daya sebesar 150 Watt dan memiliki diameter nozzle 0,98 mm. Mesin ekstruder digunakan untuk mengekstrusi material plastik acrylonitrile butadiene styrene (ABS), polypropylene (PP) dan Nylon 6. Variasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah variasi temperatur yaitu 160°C, 170°C, 180°C, dan 190°C untuk temperatur barrel dan 180°C, 190°C, 200°C, dan 210°C untuk temperatur pada stopper (nozzle). Karakterisasi hasil ekstrusi filament adalah pengukuran diameter, densitas dan foto struktur mikro. Hasil pengujian dapat diketahui bahwa diameter filament hasil ekstrusi setiap variasi temperatur berbeda-beda. Diameter filament hasil ekstrusi mengalami pembengkakan. Diameter Filament hasil ekstrusi yang paling mendekati 1,75 mm yaitu filament PP pada temperatur barrel sebesar 190°C dan temperatur stopper (nozzle) sebesar 210°C dengan hasil diameter rata-rata 1,64 mm. Plastik ABS pada temperatur barrel sebesar 170°C dan temperatur stopper (nozzle) sebesar 190°C dengan diameter rata-rata 1,29 mm. Plastik Nylon 6 pada temperatur barrel sebesar 160°C dan temperatur stopper (nozzle) sebesar 180°C dengan diameter rata-rata 1,19 mm. Densitas filament yang sesuai dengan densitas material itu sendiri yaitu filament ABS pada temperatur barrel sebesar 170°C dan temperatur stopper (nozzle) sebesar 190°C dengan densitas 1,01 g/cm³, filament PP pada temperatur barrel sebesar 190°C dan temperatur stopper (nozzle) sebesar 210°C dengan densitas 0,95 g/cm³, filament Nylon 6 pada temperatur barrel sebesar 160°C dan temperatur stopper (nozzle) sebesar 180°C dengan densitas 1,09 g/cm³. Untuk hasil foto struktur mikro semakin tinggi temperatur proses ekstrusi yang digunakan, maka rongga yang ada pada filament semakin sedikit.

Kata kunci : Ekstrusi, *filament*, plastik, ABS, PP, Nylon 6

Abstract

At present the development of technology is increasing. One technology that is developing is 3-dimensional printer technology. One of the 3 dimensional printer is filament. Filament is extruded plastic. Filament used in general is 1.75 mm in diameter. Plastics or polymers are now increasingly being used and have even replaced wood and metal materials. Plastic products have been widely used in household products to automotive products. Plastics are widely used because plastics have mild properties and are easily shaped. This study aims to determine the performance of extruder machines and determine the characterization of extrusion results by measuring diameters, densities, and microstructure photographs. Extruder machine used has a capacity of 247.22 grams, screw rotation of 23.33 Rpm with 0.5 Hp electric motor power and has 4 heaters each has a power of 150 Watt and has a nozzle diameter of 0.98 mm. Extruder machines are used to extrude acrylonitrile butadiene styrene (ABS), polypropylene (PP) and Nylon 6 plastic materials. barrels and 180 ° C, 190 ° C, 200 ° C and 210 ° C for the temperature at the nozzle. Characterization of filament extrusion results is measurement of diameter, density and photo of microstructure. Test results can be seen that the diameter of the extruded filament for each temperature variation is different. The diameter of the extruded filament is swollen. The diameter of the extruded Filament that is closest to 1.75 mm is

PP filament at a barrel temperature of 190 ° C and a nozzle temperature of 210 ° C with an average diameter of 1.64 mm. ABS plastic at a barrel temperature of 170 ° C and a stopper (nozzle) temperature of 190 ° C with an average diameter of 1.29 mm. Nylon plastic 6 at a barrel temperature of 160 ° C and a stopper (nozzle) temperature of 180 ° C with an average diameter of 1.19 mm. Filament density that corresponds to the density of the material itself is ABS filament at a barrel temperature of 170 ° C and a stopper (nozzle) temperature of 190 ° C with a density of 1.01 g / cm³. PP filament at barrel temperature of 190 ° C and nozzle temperature of 210 ° C with a density of 0.95 g / cm³. Nylon 6 filament at a barrel temperature of 160 ° C and a nozzle temperature of 180 ° C with a density of 1.09 g / cm³. For the results of microstructure photographs the higher the temperature of the extrusion process used, the fewer cavities in the filament..

Keywords: *Extrusion, filament, plastic, ABS, PP, Nylon 6*

1. Pendahuluan.

Penelitian tentang titik leleh material plastik acrylonitrile butadiene styrene (ABS), polypropylene (PP), dan nylon 6 sudah banyak dikembangkan. Plastik ABS, PP, dan nylon 6 banyak digunakan dalam dunia industri dikarenakan material plastik bersifat ringan, mudah dibentuk dan harganya terjangkau. Material plastik dilelehkan dan kemudian dibentuk menjadi berbagai macam benda sesuai dengan die (cetakan)

Sibarani dkk., (2018) dalam penelitian tentang perancangan unit ekstruder pada mesin ekstrusi memperoleh hasil perhitungan sebagai berikut: kapasitas screw 200 kg/jam, daya motor listrik sebesar 2,0 HP dan putaran sebesar 130 Rpm. Alat ini menggunakan satu buah pemanas, sehingga daya yang dibutuhkan adalah 800 watt untuk menaikkan suhu hingga 250°C. Bahan yang digunakan adalah material jenis polypropylene. Screw yang digunakan memiliki diameter 4 in.

Muhammed dkk., (2017) dalam penelitiannya menguji potensi daur ulang acrylonitrile butadiene styrene (ABS) untuk membuat filament untuk percetakan 3D Fused Deposition Modeling (FDM). ABS dapat di daur ulang dan dapat membentuk filament kembali tanpa penambahan ABS murni. Namun terdapat perubahan pada karakteristik polimer sifat mekanik saat uji tarik dan penurunan titik leleh. ABS murni leleh pada temperatur 205°C sedangkan ABS daur ulang leleh pada temperatur 200°C.

Salina dkk., (2017) melakukan penelitian dengan menggunakan peralatan yang menghasilkan panas seperti setrika, heat gun, hairdryer, solder, dan lilin menyatakan bahwa plastik jenis polypropylene (PP) dapat dipanaskan hingga titik leleh 130° C. Pencampuran plastik polypropylene (PP) bening dengan plastik Low-density Polyethylene (LDPE) hitam tipis menghasilkan perpaduan yang menarik.

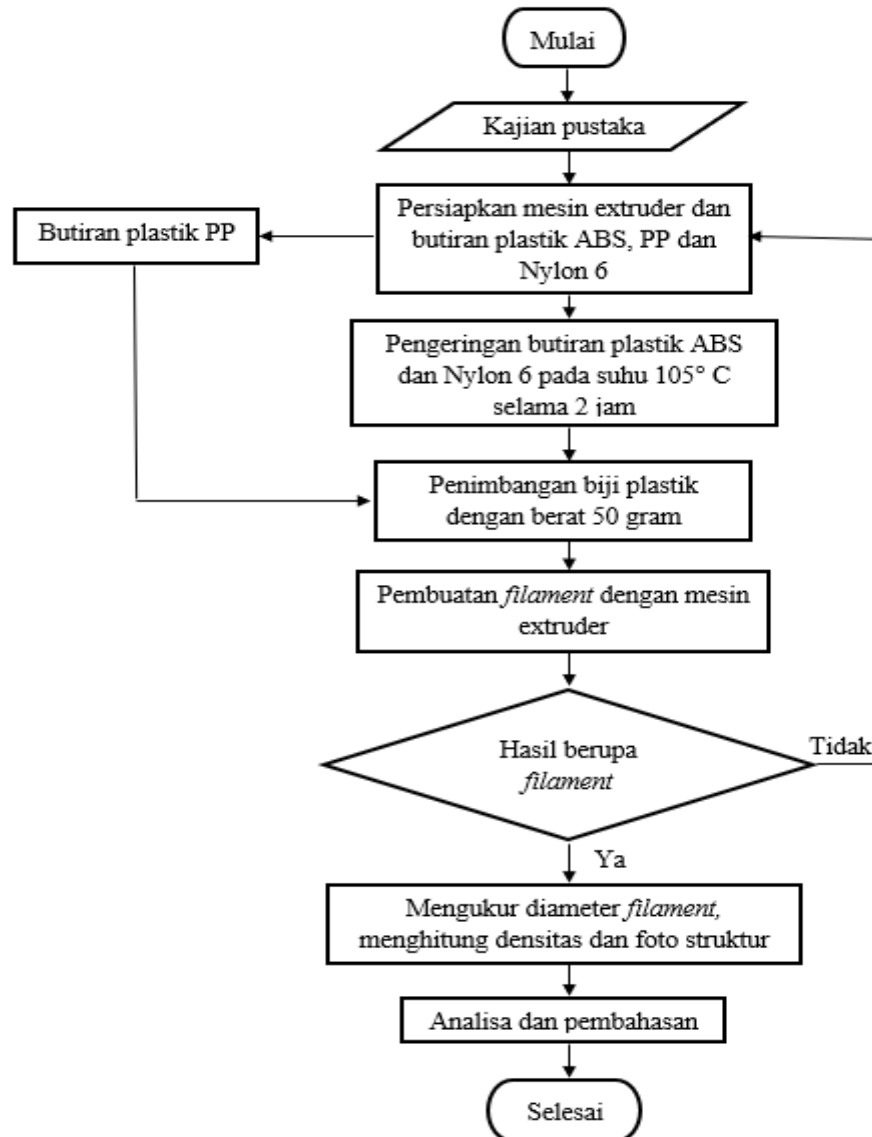
Xue Chau Hu, & Yang H. H., (2000) dalam bukunya tentang material komposit komprehensif menyatakan bahwa nylon 6 memiliki melting point sebesar 214°C. filament dari jenis plastik nylon 6 memiliki permukaan yang halus. Nylon 6 memiliki sifat ketahanan yang luar biasa terhadap abrasi.

Sumardi dan Indra, (2011) melakukan penelitian membuat filament dengan mesin ekstruder single screw dengan daya motor listrik 1,4 HP, pemanasan menggunakan heater dengan masing masing mempunyai daya 475 watt dan ukuran die 5 mm. Butiran plastik polypropylene (PP) pada temperatur proses ekstrusi 165°C telah mulai membentuk batangan bulat meskipun belum terbentuk sesuai dengan bentuk cetakan. Pada temperatur 180°C filament yang dihasilkan telah berbentuk batangan bulat sesuai dengan bentuk die. Disimpulkan Temperatur proses ekstrusi untuk plastik jenis polypropylene dengan ekstruder single screw yaitu pada temperatur 180°C.

Mujiarto, (2005) dalam penelitiannya sifat dan karakteristik material plastik dan bahan aditif temperatur leleh acrylonitrile butadiene styrene (ABS) pada suhu 180° C - 240° C. Temperatur leleh polypropylene pada suhu 200° C - 300° C. Temperatur leleh nylon pada Suhu 260° C - 290° C.

Dari beberapa penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa temperatur leleh plastik berbeda-beda. Hal tersebut dipengaruhi oleh alat dan bahan yang digunakan. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian terhadap mesin ekstruder yang telah dirancang agar menghasilkan filament dan untuk mengetahui karakteristik filament dengan berbagai variasi temperature terhadap diameter, densitas dan morfologi dari material plastik acrylonitrile butadiene styrene (ABS), polypropylene (PP), dan nylon 6.

2. Metode Penelitian.

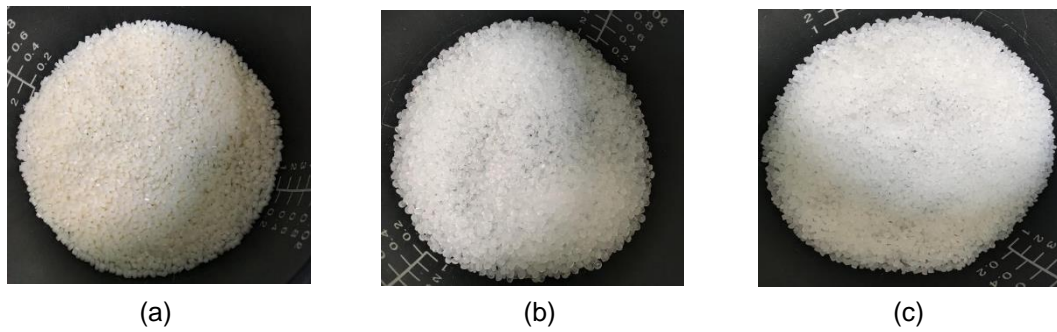


Gambar 1. Diagram alir penelitian

Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu Variasi temperatur 160°C, 170°C, 180°C, dan 190°C untuk temperatur barrel. 180°C, 190°C, 200°C, dan 210°C untuk temperature stopper (nozzle). Alat yang digunakan yaitu mesin ekstruder yang telah dirancang dengan putaran screw 23.333 Rpm dan diameter die 0,98 mm. Material yang digunakan yaitu ABS, PP dan Nylon 6.



Gambar 2. Mesin ekstruder



Gambar 3. (a) Pellet ABS, (b) Pellet PP, (c) Pellet Nylon 6

2.1. Pengukuran Diameter.

Pengukuran diameter filament dilakukan untuk mengetahui diameter rata-rata, standar deviasi, volume filament dan densitas filament tersebut. Beberapa persiapan sebelum mengukur diameter yaitu memotong filament dengan Panjang 50 mm kemudian diukur sebanyak lima kali pada titik yang berbeda beda. Pengukuran menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,02 mm.

$$\text{Diameter rata - rata} = \frac{\sum \text{diameter}}{n}$$

$$\text{Standar deviasi} = \frac{\sum (\text{diameter} - \text{diameter rata - rata})^2}{n}$$

$$\text{Volume filament} = \pi \times r^2 \times p$$

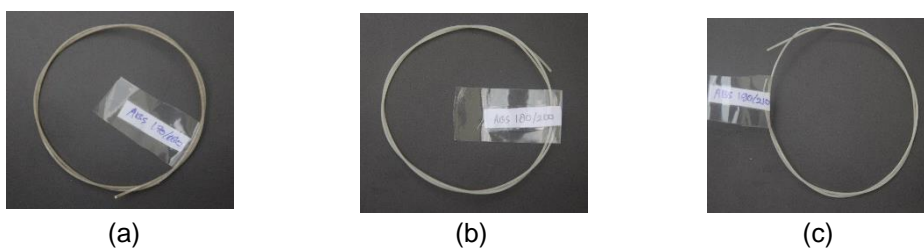
$$\text{Densitas} = \frac{\text{berat}}{\text{volume}}$$

2.2. Pengujian Struktur Mikro

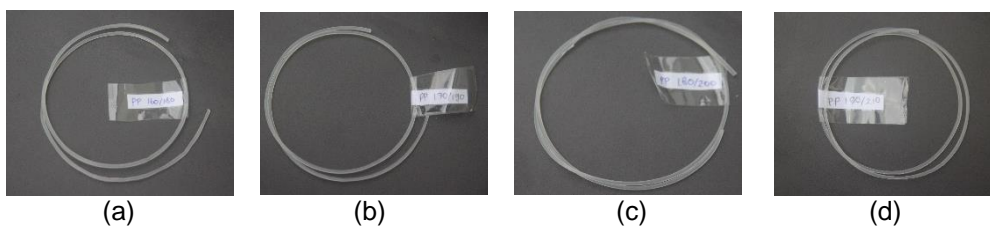
Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengamati hasil *filament* pada setiap variasi dimana pengamatan tersebut dilakukan pada dua daerah yaitu sisi penampang melintang dan sisi samping. Beberapa persiapan sebelum melakukan pengujian yaitu memotong rata filament sisi penampang melintang agar dapat dilihat pada saat pengujian struktur mikro. Pengujian struktur mikro dilaboratorium *micro* Teknik Mesin UMY.

3. Hasil dan Pembahasan.

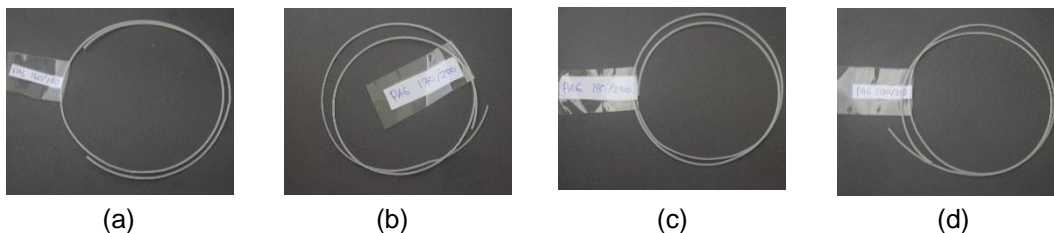
3.1. Hasil ekstrusi.



Gambar 4. Filament ABS hasil ekstrusi (a) temperatur 170°C/190°C, (b) temperatur 180°C/200°C, (c) temperatur 190°C/210°C



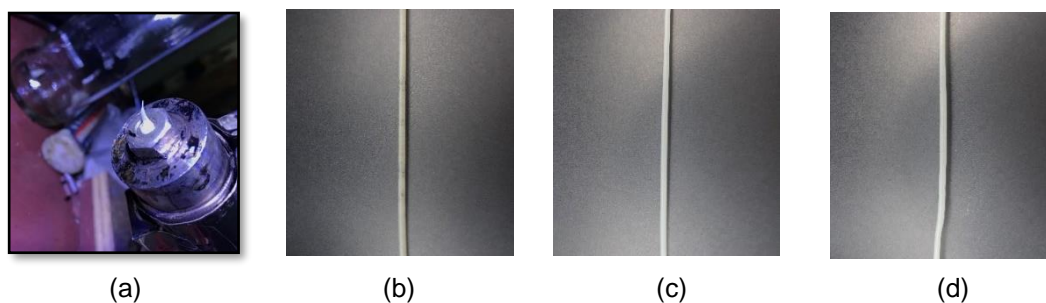
Gambar 5. Filament PP hasil ekstrusi (a) temperatur 160°C/180°C, (b) temperatur 170°C/190°C, (c) temperatur 180°C/200°C, (d) temperatur 190°C/210°C



Gambar 6. Filament nylon 6 hasil ekstrusi (a) temperatur 160°C/180°C, (b) temperatur 170°C/190°C, (c) temperatur 180°C/200°C, (d) temperatur 190°C/210°C

3.2. Hasil Pengukuran Diameter

3.2.1. Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)

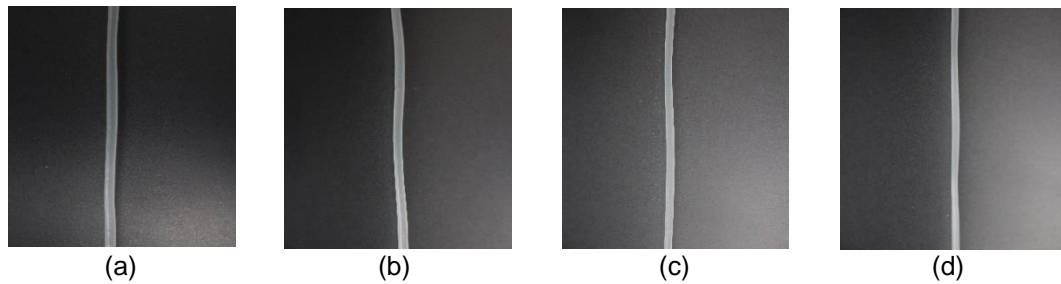


Gambar 7. Filament ABS hasil ekstrusi (a) temperatur 160°C/180°C, (b) temperatur 170°C/190°C, (c) temperatur 180°C/200°C, (d) temperatur 190°C/210°C

Tabel 1. Diameter rata-rata filament ABS

Variasi temperatur	Diameter filament (mm)					Rata-rata (mm)	Standar deviasi (mm)
	1	2	3	4	5		
160°C/180°C	0	0	0	0	0	0	0
170°C/190°C	1,3	1,28	1,3	1,3	1,26	1,29	0,018
180°C/200°C	1,06	1,1	1,08	1,24	1,1	1,12	0,071
190°C/210°C	1,08	1,1	1,08	1,06	1	1,06	0,038

3.2.2. Polypropylene (PP)

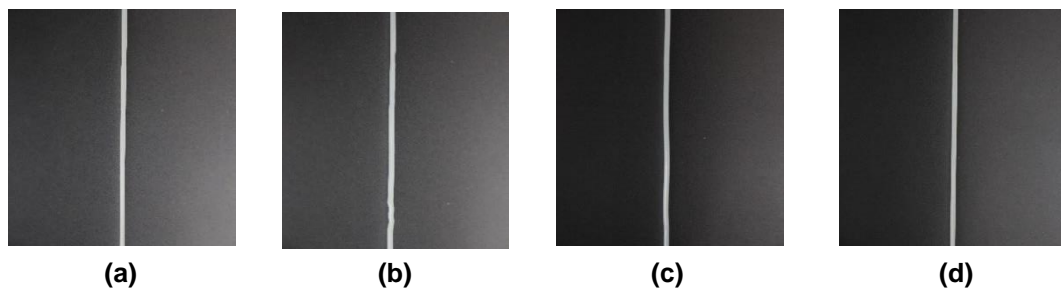


Gambar 8. Filament PP hasil ekstrusi (a) temperatur 160°C/180°C, (b) temperatur 170°C/190°C, (c) temperatur 180°C/200°C, (d) temperatur 190°C/210°C

Tabel 2. Diameter rata-rata *filament* PP

Variasi temperatur	Diameter <i>filament</i> (mm)					Rata-rata (mm)	Standar deviasi (mm)
	1	2	3	4	5		
160°C/180°C	1,98	1,92	1,9	2,16	2,06	2,00	0,107
170°C/190°C	1,88	1,8	1,98	1,8	1,9	1,87	0,076
180°C/200°C	1,8	1,9	1,78	1,88	1,86	1,84	0,052
190°C/210°C	1,58	1,7	1,66	1,78	1,48	1,64	0,115

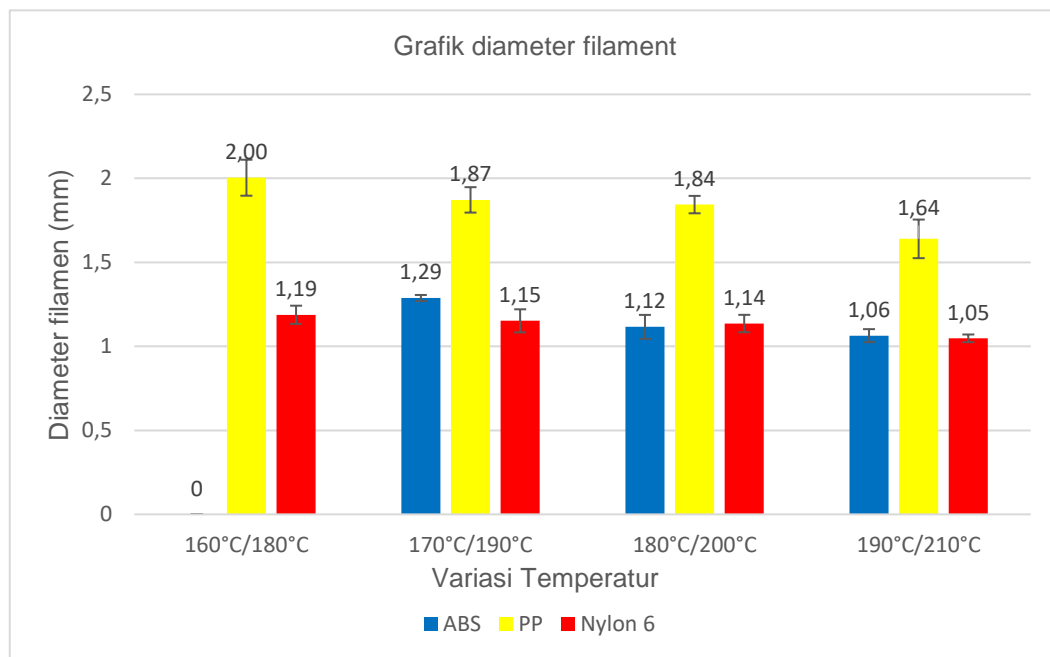
3.2.3. Nylon 6



Gambar 9. Filament *nylon 6* hasil ekstrusi (a) temperatur 160°C/180°C, (b) temperatur 170°C/190°C, (c) temperatur 180°C/200°C, (d) temperatur 190°C/210°C

Tabel 3. Diameter rata-rata *filament* Nylon 6

Variasi temperatur	Diameter <i>filament</i> (mm)					Rata-rata (mm)	Standar deviasi (mm)
	1	2	3	4	5		
160°C/180°C	1,18	1,24	1,2	1,22	1,1	1,19	0,054
170°C/190°C	1,06	1,1	1,18	1,2	1,22	1,15	0,069
180°C/200°C	1,2	1,08	1,18	1,1	1,12	1,14	0,052
190°C/210°C	1,04	1,02	1,06	1,04	1,08	1,05	0,023



Grafik 1. Grafik diameter filament

Diameter filament yang digunakan pada printer 3D umumnya yaitu memiliki diameter 1.75 mm. Pada grafik 1 dapat disimpulkan bahwa diameter filament hasil ekstruksi yang paling mendekati dengan diameter filament yang digunakan pada printer 3D yaitu plastik jenis PP pada variasi temperatur 190°C/210°C. Diameter filament hasil ekstruksi mengalami pembengkakan (die swell). Hal tersebut dikarenakan plastik yang belum meleleh secara sempurna, tekanan pada barrel meningkat sehingga saat plastik keluar melalui die mengalami pembengkakan.

3.3. Densitas filament

Tabel 4. Densitas filament ABS

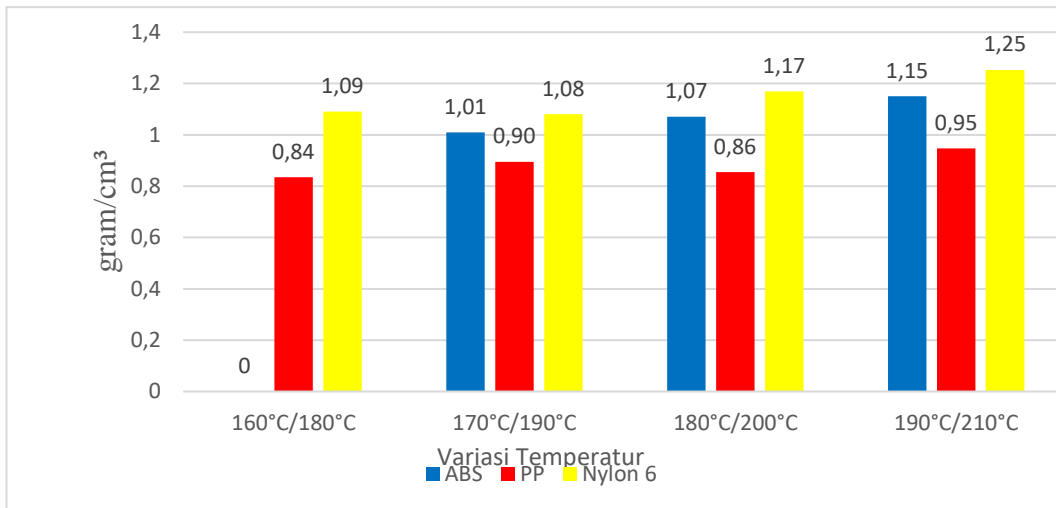
No	Variasi Temperatur	Panjang Filament (mm)	Diameter rata-rata (mm)	Berat (gram)	Volume (mm ³)	Densitas (gram/cm ³)
1	160°C/180°C	0	0	0	0	0
2	170°C/190°C	500	1,29	0,6583	65,3159	1,01
3	180°C/200°C	500	1,12	0,5259	49,2352	1,07
4	190°C/210°C	500	1,06	0,5074	44,1013	1,15

Tabel 5. Densitas filament PP

No	Variasi Temperatur	Panjang Filament (mm)	Diameter rata-rata (mm)	Berat (gram)	Volume (mm ³)	Densitas (gram/cm ³)
1	160°C/180°C	500	2	1,3104	157	0,84
2	170°C/190°C	500	1,87	1,2287	137,253	0,90
3	180°C/200°C	500	1,84	1,1358	132,885	0,86
4	190°C/210°C	500	1,64	0,9996	105,567	0,95

Tabel 5. Densitas filament Nylon 6

No	Variasi Temperatur	Panjang Filament (mm)	Diameter rata-rata (mm)	Berat (gram)	Volume (mm ³)	Densitas (gram/cm ³)
1	160°C/180°C	500	1,19	0,6063	55,5819	1,09
2	170°C/190°C	500	1,15	0,5605	51,9081	1,08
3	180°C/200°C	500	1,14	0,5964	51,0093	1,17
4	190°C/210°C	500	1,05	0,5423	43,2731	1,25

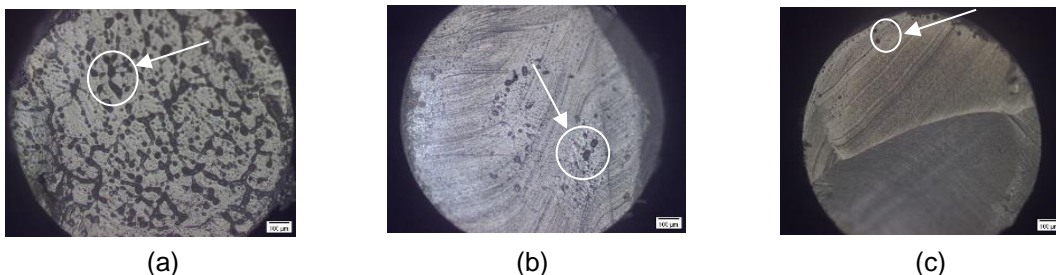


Grafik 2. Grafik diameter filament

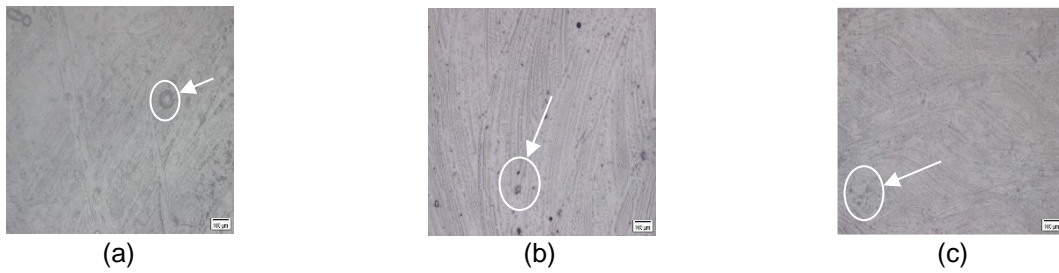
Pada grafik diatas dapat dilihat semakin kecil volume dan berat maka nilai densitas semakin besar, begitu pula sebaliknya semakin besar volume dan berat maka nilai densitas semakin kecil. Pada grafik diatas semakin kecil diameter filament nilai densitas yang dihasilkan semakin besar maka filament semakin padat dan rapat. Densitas untuk material ABS yaitu 1010-1210 kg/m³ setara dengan 1,01-1,21 g/cm³. Densitas filament ABS pada semua variasi temperatur sudah sesuai dengan densitas material ABS itu sendiri. Densitas untuk material PP yaitu 890-910 kg/m³ atau setara dengan 0,89-0,91 g/cm³. Densitas filament PP pada semua variasi temperatur sudah sesuai dengan densitas material PP itu sendiri. Densitas untuk material nylon 6 yaitu 1120-1140 kg/m³ atau setara dengan 1,12-1,14 g/mm³. Densitas filament nylon 6 pada semua variasi temperatur sudah sesuai dengan densitas material nylon 6 itu sendiri.

3.4. Hasil Foto Struktur Mikro

3.4.1. Filament ABS



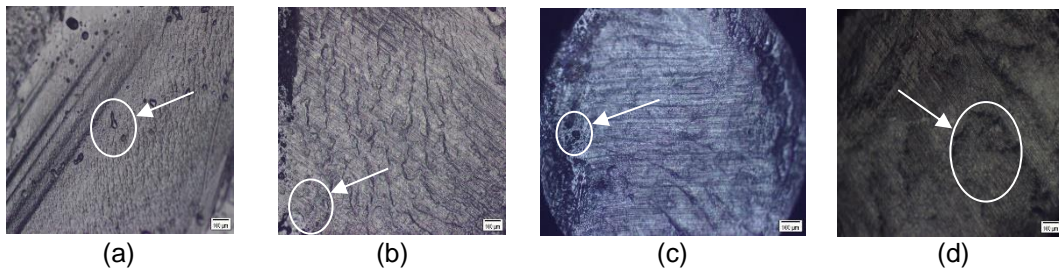
Gambar 10. Filament ABS penampang melintang (a) temperatur 170°C/190°C, (b) temperatur 180°C/200°C, (c) temperatur 190°C/210°C



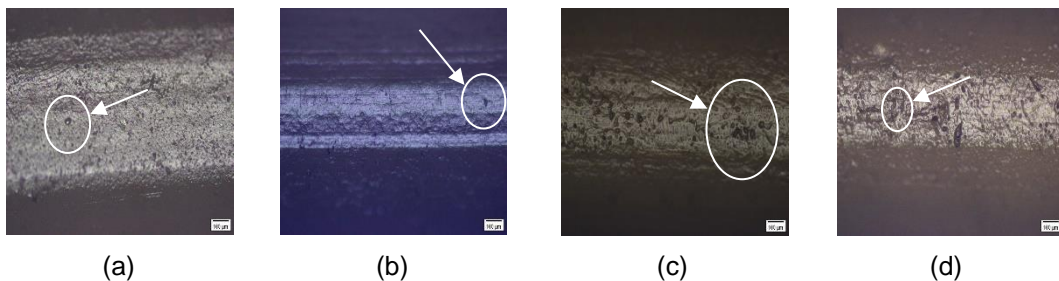
Gambar 11. *Filament* ABS sisi samping (a) temperatur 170°C/190°C, (b) temperatur 180°C/200°C, (c) temperatur 190°C/210°C

Pada gambar 10 dan gambar 11 dapat dilihat hasil foto struktur mikro dari filament ABS penampang melintang dan sisi samping. Semua variasi temperatur terdapat rongga salah satu contoh ditunjukkan oleh panah. Semakin tinggi temperatur maka rongga pada filament semakin sedikit rongga yang terlihat. Adanya rongga dikarenakan udara yang terjebak di dalam barrel pada saat proses ekstrusi.

3.4.2. *Filament* PP



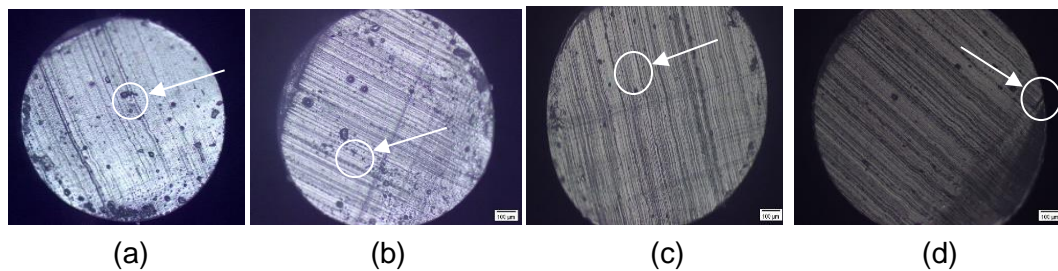
Gambar 12. *Filament* PP penampang melintang (a) temperatur 160°C/180°C, (b) temperatur 170°C/190°C, (c) temperatur 180°C/200°C, (d) temperatur 190°C/210°C



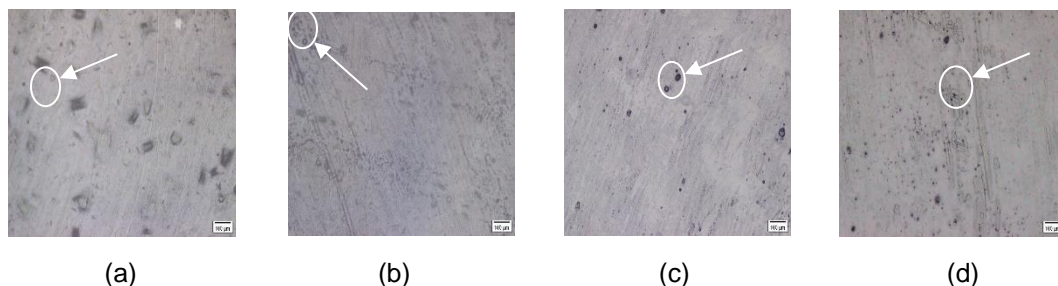
Gambar 13. *Filament* PP sisi samping (a) temperatur 160°C/180°C, (b) temperatur 170°C/190°C, (c) temperatur 180°C/200°C, (d) temperatur 190°C/210°C

Pada gambar 12 dan gambar 13 dapat dilihat hasil foto struktur mikro dari filament ABS penampang melintang dan sisi samping. Semua variasi temperatur terdapat rongga salah satu contoh ditunjukkan oleh panah. Semakin tinggi temperatur maka rongga pada filament semakin sedikit rongga yang terlihat. Adanya rongga dikarenakan udara yang terjebak di dalam barrel pada saat proses ekstrusi.

3.4.3. Filament Nylon 6



Gambar 14. Filament ABS sisi samping (a) temperatur 160°C/180°C, (b) temperatur 170°C/190°C, (c) temperatur 180°C/200°C, (d) temperatur 190°C/210°C



Gambar 15. Filament Nylon 6 sisi samping (a) temperatur 160°C/180°C, (b) temperatur 170°C/190°C, (c) temperatur 180°C/200°C, (d) temperatur 190°C/210°C

Pada gambar 14 dan gambar 15 dapat dilihat hasil foto struktur mikro dari filament ABS penampang melintang dan sisi samping. Semua variasi temperatur terdapat rongga salah satu contoh ditunjukkan oleh panah. Semakin tinggi temperatur maka rongga pada filament semakin sedikit rongga yang terlihat. Adanya rongga dikarenakan udara yang terjebak di dalam barrel pada saat proses ekstrusi.

4. Kesimpulan

Penelitian tentang karakteristik filament hasil ekstrusi dengan bahan acrylonitrile butadiene styrene, polypropylene, dan nylon 6 telah selesai dilakukan dan dari analisis data didapat hasil sebagai berikut:

1. Mesin extruder *single screw* dengan diameter die 0,98 mm telah bekerja dengan baik selama pengujian. Setiap 50 gram butiran plastik yang dimasukkan pada saat proses extrusi, dihasilkan *filament* yaitu seberat 40 gram dan 10 gram tertinggal di dalam *barrel*.
2. Berdasarkan dengan Diameter Filament hasil ekstrusi yang paling mendekati 1,75 mm yaitu filament PP pada temperatur barrel sebesar 190°C dan temperatur stopper (nozzle) sebesar 210°C dengan hasil diameter rata-rata 1,64 mm. ABS yaitu pada temperatur barrel sebesar 170° C dan temperatur stopper (nozzle) sebesar 190°C dengan diameter rata-rata 1,29 mm. Nylon 6 yaitu pada temperatur barrel sebesar 160° C dan temperatur stopper (nozzle) sebesar 180°C dengan diameter rata-rata 1,19 mm.
3. Berdasarkan nilai densitas yang didapatkan, densitas filament yang sesuai dengan densitas material itu sendiri yaitu filament ABS pada temperatur barrel sebesar 170° C dan temperatur stopper (nozzle) sebesar 190°C dengan densitas 1,01 g/cm³. *Filament* PP pada temperatur barrel sebesar 190°C dan temperatur stopper (nozzle) sebesar 210°C dengan densitas 0,95 g/cm³. *Filament* Nylon 6 pada temperatur barrel sebesar 160° C dan temperatur stopper (nozzle) sebesar 180°C dengan densitas 1,09 g/cm³.
4. Berdasarkan foto struktur mikro, semakin tinggi temperatur yang digunakan maka rongga yang terdapat pada filament semakin sedikit.

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan penulis menyarankan agar dilakukan pengecekan ulang temperatur lelehan plastik yang keluar melalui die, menambah *cooling system*, dan memberi penggulung filament otomatis.

Daftar Pustaka

Journal:

- [1] Mohammed M. I., Kervin E., Wilson, D., & Gibson, I., (2017). EcoPrinting : Investigating the use of 100 % recycled Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) for Additive Manufacturing. *Solid Freeform Fabrication Symposium*, 532–542.
- [2] Mujiarto, I. (2005). Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif. *Traksi*, 3(2), 65–74.
- [3] Salina, I., Cristina, J., & Ginting, Y. (2017). Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP (POLYPROPYLENE) Sebagai Material Pada Tas Laundry. *E-Proceeding of Art & Design*, 4(3), 873–887.
- [4] Sibarani M, Allan M. P., & Santika P. M., (2018). Perancangan unit Extruder Pada Mesin Extrusion Laminasi Fleksible Packaging. *Jurnal Teknik Mesin ITI*, 2(2), 42–45. <https://doi.org/10.31543/jtm.v2i2.155>
- [5] Sumardi & Mawardi I., (2011). Perancangan Dan Fabrikasi Mesin Extrusi *Single Screw*. *Jurnal Teknik Mesin Politeknik Negri Ilokseumawe*, 1–5.
- [6] Xue Chau Hu, & Yang H. H., (2000). Polyamide and Polyester Fibers. *Comprehensive Composite Materials*, 327–344. <https://doi.org/10.1016/b0-08-042993-9/00060-7>