

PERANCANGAN MESIN SINGLE SCREW EXTRUDER UNTUK DAUR ULANG PLASTIK LDPE MENJADI FILAMENT FEED 3D PRINTING

¹ Alfian Djafar,² Mahrus Ali Fatoni

^{1,2}Jurusan Teknologi Industri dan Proses, Program Studi Teknik Mesin,
Institut Teknologi Kalimantan

Kampus ITK, Jl. Soekarno-Hatta, km. 15, Karang Joang, Balikpapan, Kalimantan Timur

¹ alfian.djafar@gmail.com, ² 03151025@student.itk.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan perancangan mesin single screw extruder kapasitas produksi 1,2 kg/jam. Selain itu, pengaruh temperatur terhadap hasil extrusi dengan material daur ulang LDPE dilakukan. Dalam proses perancangan mesin single screw extruder, dibutuhkan pengumpulan data desain single screw extruder awal. Selanjutnya, pengaturan skala dilakukan agar mendapatkan geometri desain single screw extruder secara aktual. Langkah selanjutnya adalah pengujian untuk mendapatkan temperatur optimal yang dibutuhkan untuk membuat filament dari material LDPE. Data yang digunakan adalah panjang barrel 600 mm, diameter barrel 48 mm, sehingga rasio L/D sebesar 12,5. Pengujian secara eksperimen dilakukan sebanyak 3 kali. Pada percobaan pertama, kedua dan ketiga masing-masing menggunakan temperatur 165°C-170°C, 185°C-190°C, dan 205°C- 210°C. Hasil pengujian yang berhasil ditarik menjadi filament adalah pada percobaan pertama dan kedua dengan temperatur optimal untuk material LDPE pada mesin single screw extruder yang dirancang adalah 165°C- 190°C.

Kata kunci: Extruder, Filament, Screw, Temperatur

Abstract

The goal of this research is to develop a single screw extruder machine with a production capacity of 1.2 kg/hour. In addition, the impact of temperature on extrusion results with LDPE recycled material was investigated. In the process of designing a single screw extruder machine, it is necessary to collect initial single screw extruder design data. Next, the scale adjustment is done to get the actual single screw extruder design geometry. The next step is testing to get the optimal temperature needed to make filaments from LDPE material. The data used is a barrel length of 600 mm, a barrel diameter of 48 mm, so the L/D ratio is 12.5. Experimental testing was carried out 3 times. In the first, second, and third experiments, respectively, temperatures of 165 °C-170 °C, 185 °C-190 °C, and 205°C-210 °C were used. The test results that were successfully pulled into filaments were in the first and second experiments. Thus, the optimal temperature for LDPE material in a machine-designed single screw extruder is 165°C-190°C.

Keywords: Extruder, Filament, Screw, Temperatur

PENDAHULUAN

Teknologi 3D printing adalah salah satu teknologi yang menjanjikan di abad ke-21. Berbagai macam mesin printer 3D telah digunakan bagi para konsumen dan

profesional. Keunggulan yang dimiliki dari mesin adalah kemampuannya dalam membuat objek yang kompleks mulai mainan hingga pemodelan fosil [1]. Material yang digunakan dalam pembentukannya beragam, baik dari plastik, keramik, serta logam. Jika ditinjau

dari jenis plastik, *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) dan *Polylactic Acid* (PLA) yang sering digunakan [2]. Akan tetapi, ABS dan PLA yang termasuk dalam polimer *thermoplastic*, memiliki harga yang cukup mahal. Oleh karena itu, upaya untuk mencari alternatif perlu dilakukan.

Polimer *thermoplastic* yang sering dijumpai dan menjadi sampah sehari-hari salah satunya polimer *Low Density Polyeththlene* (LDPE). LDPE memiliki sifat yang relatif lentur dan transparan serta tahan terhadap bermacam pelarut. LDPE biasa ditemukan pada lapisan pengemas, isolasi kawat dan kabel, barang mainan, dan botol fleksibel [3], serta tutup botol air galon yang memiliki nomor 4 pada simbol daur ulang.

Daur ulang sampah menjadi salah satu strategi dalam upaya pengelolaan sampah. Plastik daur ulang juga dapat dilihat sebagai peluang bisnis sekaligus dalam upaya melindungi lingkungan. Polimer *thermoplastic* seperti LDPE dapat dibentuk ulang melalui pemanasan dengan metode ekstrusi dengan menggunakan *screw*. *Screw extruder* dapat menghasilkan *filament* dengan hasil yang kontinu, sehingga bisa diaplikasikan sebagai *filament feed 3D printing*. Karakteristik kondisi yang harus dipenuhi dalam proses ekstrusi polimer adalah temperatur leleh, dan jenis *screw*. Desain serta konstruksi *screw* dan barrel merupakan pertimbangan penting untuk menghasilkan kualitas hasilnya [4].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, *Filament extruder* menghasilkan filamen plastik dengan diameter tertentu menggunakan cetakan yang sesuai. *Thermoplastic* yang digunakan berupa granul dan pellet serta dapat berupa limbah bahan plastik. *Band heater* terbuat dari keramik digunakan untuk material yang masuk. Bahan baku input dilebur dengan menggunakan *ceramic band heater*. Pengontrol temperatur analog digunakan untuk mengontrol temperaturnya. Dies mengekstrusi filamen pada diameter 3 mm. Diameter *filament* dapat dikurangi dengan menggunakan motor DC untuk menarik *filament* yang keluar dari cetakan [5]. Perancangan mesin *single screw extruder portable* yang optimal dalam memproduksi filament *3D printer* telah dilakukan. Proses perancangan dimulai dengan desain geometri, simulasi termal, serta pengujiannya menggunakan filament ABS untuk mengetahui kapasitas produksinya. Berdasarkan pengujian, kapasitas produksinya sebesar 1,46 kg/jam dan membutuhkan daya 612 Watt. Temperatur optimal yang dibutuhkan dalam produksi filament dengan material ABS adalah 210⁰ C dengan putaran *screw* pada kecepatan putaran 5 RPM [6]. Untuk mengatur kecepatan putaran, dibutuhkan sistem transmisi. Terdapat beberapa jenis sistem transmisi pada penerapannya, diantaranya yaitu rantai, belt, dan roda gigi. Tipe rantai memiliki kelebihan berdasarkan umur pakai yang lebih lama dibandingkan

tipe *belt*. Selain itu, tipe rantai dapat beroperasi pada temperatur tinggi [6]. Sistem transmisi bertujuan untuk meneruskan putaran dan juga menaikkan putaran atau sebaliknya. Pada transmisi *sprocket and chain* (rantai), perbandingan antara jumlah antar gigi, sehingga putaran yang ditransmisikan bisa diketahui. Perbandingannya bisa dilihat pada persamaan (1)

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

T_1 dan T_2 masing masing jumlah gigi sprocket 1 dan 2, sedangkan N_1 dan N_2 adalah besarnya putaran. Untuk mendapatkan *single screw extruder* dengan kapasitas produksi 1,2 kg/jam, panjang barrel dibatasi sebesar 600 mm. Sudut helix yang direkomendasikan adalah 17.65° agar mendapatkan dorongan maju yang maksimal [5].

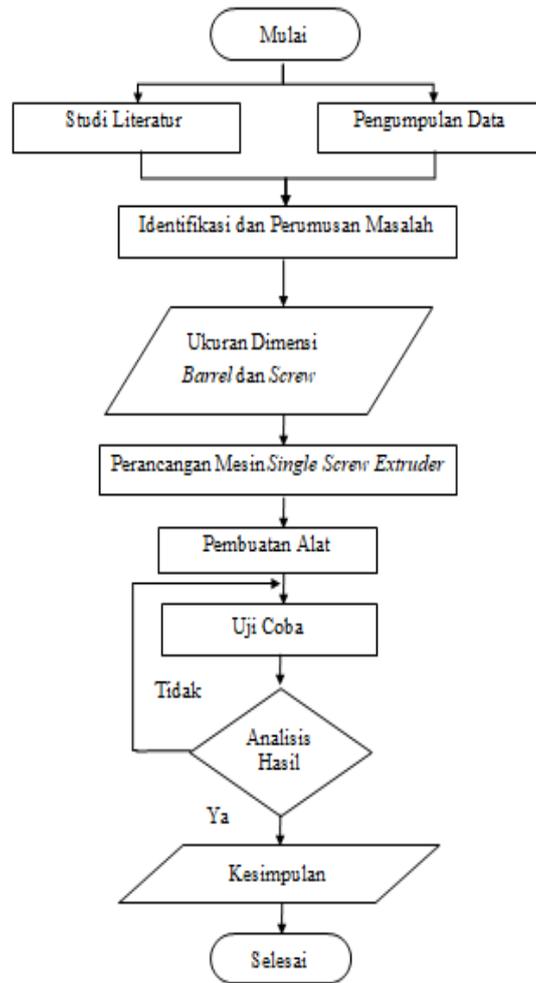
Filament extruder dirancang dan diproduksi dalam skala rumahan untuk membuat *filament* yang digunakan dalam 3D printer. Hasil produksi baik jika menggunakan pelet PET, tetapi gagal ketika menggunakan botol air daur ulang. Produk *filament* akhir bergantung pada tegangan yang dikenakan pada *filament* saat keluar dari mesin. Saat ini, operator manusia yang terampil diperlukan untuk secara konsisten menghasilkan *filament* yang dapat diterima [7]. Potensi pengelolaan sampah dapat memberikan manfaat secara ekonomi, dengan

mencari alternatif material *filament* pada mesin 3D printer. Jadi, penelitian ini ditujukan untuk melakukan perancangan dan fabrikasi mesin *single screw extruder* untuk daur ulang plastik.

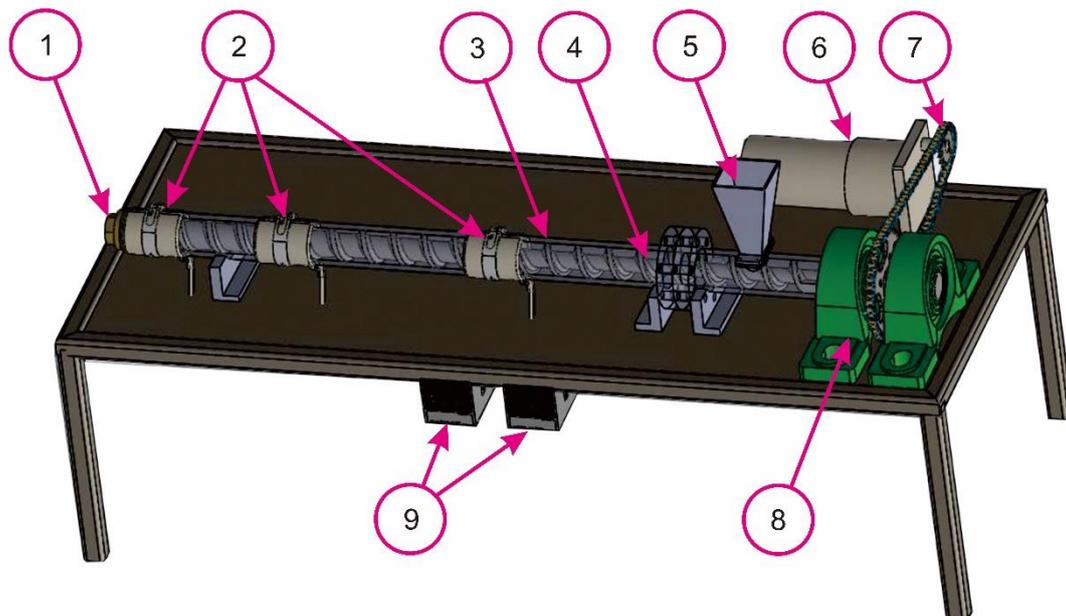
METODE PENELITIAN

Metode penelitian alurnya ditunjukkan pada Gambar 1. (1)

Skema mesin *single screw extruder* dapat dilihat pada Gambar 2. Bagian-bagian mesinnya terdiri dari *dies*(1), *heater band*(2), *barrel*(3), *screw*(4), *hopper*(5), motor DC(6), *sistem transmisi* (7), *Bearing*(8), *thermocouple*(9). Material plastik LDPE yang sudah dicacah dimasukkan ke *barrel*(3) melalui *hopper*(5). *Barrel*(3) yang panas akan melelehkan plastik tersebut. Panas *barrel*(3) berasal dari pengontrol temperatur berupa *thermocouple*(9), dimana *thermocouple* dengan barrel dihubungkan menggunakan *heater band*(2). *Heater band*(2) diletakkan berdasarkan zona panas dari *screw*(4). *Screw*(4) berfungsi meneruskan plastik LDPE menuju *dies*. Plastik LDPE akan keluar dalam bentuk batangan yang memanjang, sesuai diameter lubang *dies*(1). Untuk meneruskan plastik LDPE menuju *dies*(1), *screw extruder* berputar. Putaran *screw extruder* berasal dari motor DC(6) yang dihubungkan oleh sistem transmisi (7).



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



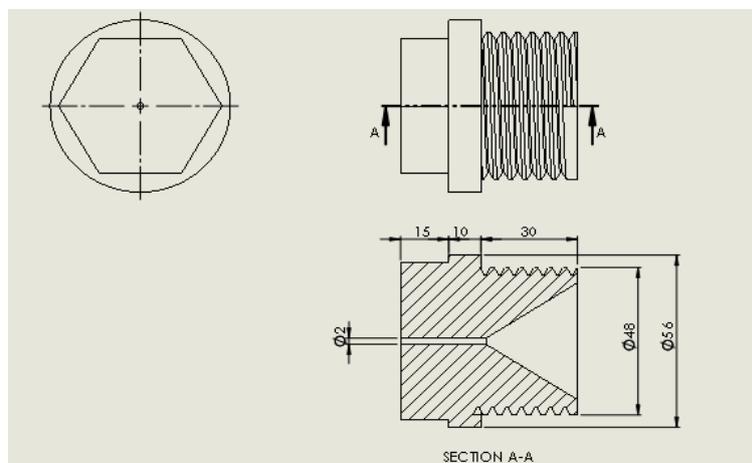
Gambar 2. Skema alat mesin *single screw extruder*

Dies (1) yang berada pada bagian akhir mesin berperan penting dalam hasil filament 3d printer. Dies yang dipilih berbentuk kerucut, karena tidak menyebabkan turbulensi dalam aliran sehingga kecepatan alirannya stabil. Pada Gambar 3., diameter akhir *dies* yang digunakan adalah 2 mm. *Filament* keluar dari *dies* akan mengalami penurunan diameter karena terjadi penarikan. Penarikan akan dilakukan untuk menyesuaikan standar produk *filament* yang digunakan yakni 1,75 mm.

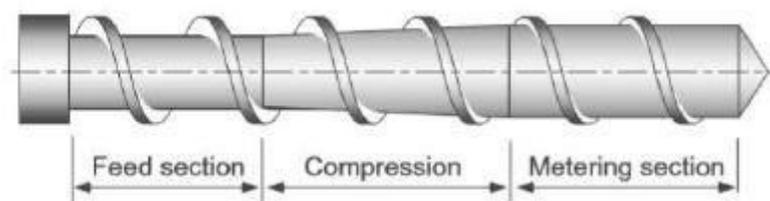
Pada bagian *screw*, Ada beberapa zona fungsi dalam *screw* yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Screw memiliki 3 zona atau daerah

pemanasan. Zona pertama adalah *feeding zone* yang umumnya memiliki ulir *screw* yang konstan dan berada dekat dengan *hopper*. Zona yang di lalui oleh material dan akan mengalami kondisi pemanasan awal. Setelah mengalami pemanasan di *feeding zone* lalu material tersebut berpindah ke dalam *compression zone*, didalam zona ini bentuk ulir menjadi *tapper* sehingga material mengalami kompresi hingga meleleh. Selanjutnya setelah melalui proses kompresi pada daerah *compression zone*, material bergerak menuju *metering zone*. Zona ini mempunyai daerah *flight screw* lebih kecil dan ulir konstan sehingga kompresi menjadi lebih besar [8].



Gambar 3. Desain *Dies*



Gambar 4. Zona *Single Screw Extruder* [8]

Tabel 1. Data Referensi Rancangan *Single Screw Extruder* L/D 26 [9]

Dimensi	Unit
Diameter, D	60 (mm)
<i>Flighted Length</i>	1560 mm (26D)
<i>Feed Section Length</i>	480 mm (8D)
<i>Compression Section Length</i>	540 mm (9D)
<i>Metering Section Length</i>	540 mm (9D)
<i>Compression Ratio</i>	3
<i>Constan Screw Pitch (Flinght Lead)</i>	60 mm (1D)
<i>Channel Depth Feed Section</i>	8,4 mm
<i>Channel Depth Metering Section</i>	2,5 mm
<i>Channel width</i>	54 mm (0,9D)
<i>Flight Width</i>	6 mm (0,1D)
<i>Flight Angle</i>	17,65 ⁰
<i>Screw Tip Angle</i>	120~150 ⁰

Secara umum, setiap zona *extruder* setidaknya memiliki satu pemanas dan beberapa pemanas yang dikendalikan oleh *thermocouple*. Sinyal *thermocouple* berhubungan langsung dengan *controller* yang menunjukkan kondisi *on/off* pemanas. Pengukuran temperatur dilakukan pada beberapa tempat, mulai dari *extruder barrel* hingga keluar dari *dies*. *Thermocouple* digunakan pada *extruder* ini adalah *thermocouple* tipe K. Penelitian dilakukan menggunakan pendekatan studi eksperimental pada pembuatan *filament* LDPE (*Low-Density Polyethylene*) dengan menggunakan *single screw extruder*. Temperatur polimer LDPE pada daerah *metering*, *transition*, *dies* berada pada kisaran 171°C -190°C [6]. Pengujian dilakukan pada perbedaan temperatur, 165°C-

170°C, 185°C- 190°C, serta 205°C - 210°C.

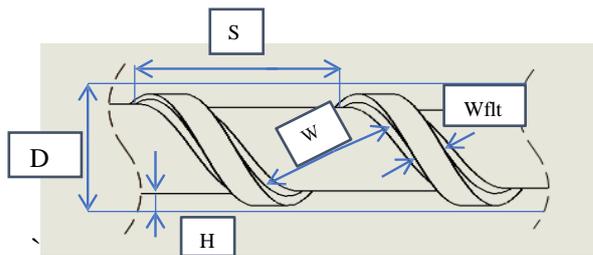
Adapun spesifikasi data rancangan *single screw extruder* yang digunakan mengacu pada Tabel 1. Pada Tabel 1, rasio perbandingan antara Panjang (L) dan Diameter (D) adalah 26. Dengan mengetahui rasio L/D, maka data yang lainnya bisa diketahui

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian berupa data rancangan dasar *single screw extruder*, kemudian dilakukan pengujian *filament* 3D *printer* yang telah dihasilkan.

1. Perancangan Dasar

Berikut data yang telah ditentukan dalam desain awal ditunjukkan pada Gambar 5.



Keterangan

S (Screw Lead) : $W + W_{FLT} = 30$ mm

W_{FLT} (Flight Width) : 3 mm

W (Flight Width) : 27 mm

H (Dept of the Feed Zone) : 8,3 mm

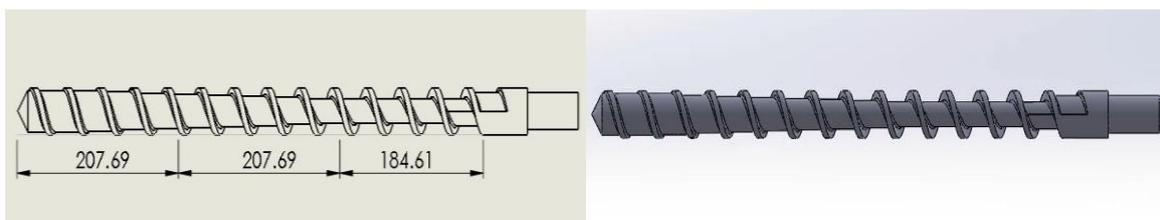
D (Diameter Barrel) : 48 mm

L (Panjang Barrel)

Gambar 5. Geometri *Single Screw Extruder*

Tabel 2. Data Rancangan *Single Screw Extruder* Aktual

No.	Tipe Dimensi	Nilai
1	Diameter	48 mm
2	Flighted Length	600 mm
3	Feed Section Length	184,61 mm
4	Compression Section Length	207,69 mm
5	Metering Section Length	207,69 mm
6	Compression Ratio	3
7	Constant Screw Pitch (Flight Lead)	48
8	Channel Depth Feed Section	8,3 mm
9	Channel Depth Metering Section	2,5 mm
10	Channel width	43,2 mm
11	Flight Width	4,8 mm
12	Flight Angle	17,65°
13	Screw Tip Angle	120 ~ 150 °



Gambar 6. Desain *Single Screw Extruder*

Dengan menentukan diameter (D) dan Panjang *Barrel* (L), rasio L/D untuk desain *screw extruder* adalah 12,5. Berdasarkan Tabel 1 dan menyesuaikan rasio L/D, maka data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan data rancangannya,

langkah selanjutnya adalah membuat gambar *single screw extruder* menggunakan *software* CAD seperti pada Gambar 6.

2. Kapasitas Produksi

Single screw extruder digerakkan dengan digunakan motor DC dengan spesifikasi 148 rpm. transmisi yang

digunakan adalah *sprocket and chain* dengan perbandingan gigi *sprocket* 14 *teeth* dan 36 *teeth*. *Sprocket* yang berjumlah 14 dihubungkan dengan motor DC. Sehingga, dengan menggunakan persamaan (1), didapatkan $N_2 = 57,55$ rpm.

Berdasarkan perencanaan awal, kecepatan putaran N_2 dari 57,55 diubah menjadi 4,5 rpm. Untuk menurunkan kecepatan tersebut, digunakan PWM *Controller*. Hasil yang didapatkan dari percobaan awal setelah kecepatan diturunkan menjadi 4,5 rpm adalah 400 gram/jam. Percobaan awal tidak maksimal, karena pemanasan awal yang singkat sehingga terdapat sisa pada dinding *barrel*. Selain itu, material tidak berbentuk granular sehingga material banyak tersangkut pada daerah *feed zone*. Untuk itu, penelitian lanjutan perlu dilakukan pada perancangan alat *single screw extruder* ini. Modifikasi dibutuhkan untuk mendapatkan kecepatan sebesar 13,5 rpm sehingga hasil produksinya menjadi 1,2 kg/jam.

3. Penarik *Filament*

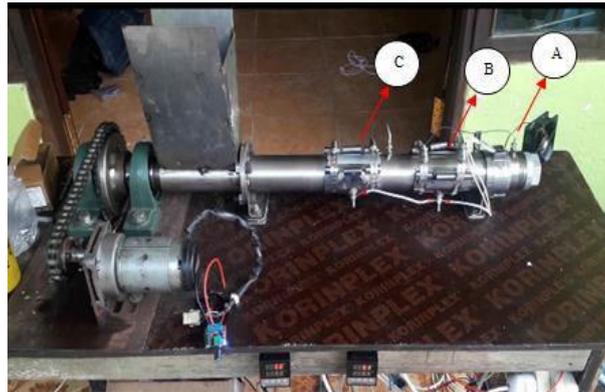
Pada Saat *filament* keluar dari *dies*, dibutuhkan suatu sistem mekanik yang dapat menarik otomatis *filament* sehingga hasilnya tidak melengkung. *Filament* yang melengkung akan menyebabkan panjang *filament* berkurang dan tidak dilakukan proses penggulangan. Sehingga, proses penarikan membutuhkan penarik *filament* agar hasil dari panjang *filament* konstan, dan dapat dilakukan proses penggulangan. Penarik *filament* memiliki 2 rol yang berfungsi untuk menarik *filament* secara otomatis. Adapun penarik *filament* ditunjukkan pada Gambar 7.

4. Pengujian mesin *single screw extruder* dengan Variasi Temperatur

Proses ekstrusi pada material LDPE menggunakan temperatur rata-rata dari material LDPE murni sebagai acuan. *Material properties* dari LDPE mempunyai temperatur *melting* ekstrusi plastik berkisar 171°C-191°C. Temperatur tersebut menjadi data acuan pada percobaan ekstrusi plastik[10].



Gambar 7. Hasil *Filament*



Gambar 8. Pembagian Area Temperatur

Percobaan mesin dengan variasi temperatur dibagi menjadi tiga kali percobaan untuk mendapatkan data yang baik. Variasi temperatur pada *barrel* dibagi menjadi tiga area, diantaranya adalah A (*dies*), B (*metering*), dan C (*transision*). Pembagian 3 area pada *Barrel* ditunjukkan pada Gambar 8. Untuk penelitian ini, Area B dan C memiliki temperatur yang sama. Pada percobaan pertama area A sebesar 165°C, area B dan area C sebesar 170°C. Pada percobaan kedua, area A sebesar 185°C, sebesar B dan C sebesar 190°C. Sedangkan untuk percobaan ketiga, area A sebesar 205°C, area B dan area C sebesar 210°C.

a. Percobaan Pertama pada 165°C -

170°C

Hasil percobaan pertama pada temperatur 165°C - 170° dengan waktu pemanasan awal 20 menit. kondisi awal saat *filament* keluar dari *dies* ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil keluaran tersebut dapat ditarik sehingga didapatkan hasil *filament* yang konstan ditunjukkan pada Gambar 7. Diketahui bahwa material yang digunakan berupa daur ulang LDPE sehingga sifat dari LDPE tidak lagi seperti LDPE murni. *Filament* dihasilkan pada percobaan pertama, ditimbang untuk mengetahui massa *filament* sepanjang 10 meter. Berdasarkan Tabel 3, terjadi perbedaan massa dengan diameter yang dihasilkan tidak konstan.



Gambar 9. Pengaturan Temperatur Pada 165°C – 170°C



Gambar 10. Hasi Keluaran *Dies* pada Temperatur 165°C-170°C



Gambar 11. Hasil Penarikan pada Temperatur 165°C-170°C

Tabel 3. Data Massa *Filament* Setiap 10 Meter pada Percobaan Pertama

No.	Panjang(meter)	Massa(gram)
1	10	25
2	10	25
3	10	24
4	10	22
5	10	25
6	10	24
7	10	22
8	10	23
9	10	21
10	10	21
11	10	20
12	10	21
13	10	20
14	10	20
15	10	20
16	10	22
17	10	21
18	10	24

b. Percobaan Kedua pada 185°C - 190°C

Percobaan kedua dilakukan pada temperatur 185°C - 190 °C dengan waktu pemanasan awal 20 menit. Seperti yang

ditunjukkan pada Gambar 8, hasil kondisi awal keluar *dies* sedikit lumer. Hasil keluaran tersebut dapat ditarik tetapi permukaan pada *filament* menjadi kasar seperti pada Gambar 9.



Gambar 12. Pengaturan Temperatur Pada 185°C - 190 °C



Gambar 13. Hasil Keluaran *Dies* pada Temperatur 185°C - 190 °C



Gambar 14. Hasil Penarikan pada Temperatur 185°C - 190 °C

Tabel 4. Data Massa *Filament* Setiap 10 Meter pada Percobaan Kedua

No.	Panjang(meter)	Massa(gram)
1	10	34
2	10	33
3	10	30
4	10	30
5	10	30
6	10	26
7	10	26
8	10	26
9	10	28
10	10	26
11	10	28
12	10	27
13	10	30

Hasil *filament* ditimbang agar mengetahui nilai massa setiap 10 meter seperti ditunjukkan pada Tabel 4. Pada Tabel 4 menunjukkan hasil massa yang yang lebih besar daripada percobaan pertama. Sehingga, perbedaan diameter

yang dihasilkan juga lebih besar.

c. Percobaan Ketiga pada 205°C - 210°C

Percobaan ketiga pada temperatur 205°C - 210°C dengan pemanasan awal 20 menit. Seperti pada Gambar 10, *Filament dies* meleleh, sehingga tidak terjadi proses

penarikan. Berdasarkan Gambar 11, kondisi *filament* yang terlalu encer menyebabkan terputusnya *filament* pada proses penarikan tersebut. Temperatur material LDPE telah mengalami perubahan menjadi cair sehingga menyebabkan penarikan saat keluar *dies* tidak maksimal.

Berdasarkan percobaan mesin *single screw extruder* yang dilakukan sebanyak 3 variasi temperature, didapatkan beberapa hasil dan evaluasi. Percobaan pertama dan kedua berhasil, karena bisa ditarik dan membentuk filament. Percobaan ketiga hasilnya gagal. Temperatur 205°C- 210 °C, material yang keluar dari *Dies* lumer dan tidak memungkinkan untuk ditarik. Jadi,

temperatur optimal untuk material LDPE pada mesin *single screw extruder* yang dirancang adalah 165°C- 190°C.

Meskipun berhasil menghasilkan filemnt, terdapat beberapa evaluasi yang menjadi saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Pertama, agar diameter *filament* konstan, dibutuhkan media pendingin berupa kipas atau air di dalam wadah. *Filament* keluar dies perlu melewati media pendingin kemudian menuju penarik *filament*. Kedua, sebaiknya material plastik LDPE dicacah hingga berbentuk granular. Karena ukuran material yang besar, banyak material yang tersangkut di daerah *feed zone*.



Gambar 15. Pengaturan Temperatur Pada 205°C - 210 °C



Gambar 16. Hasi Keluaran *Dies* pada Temperatur 205°C - 210 °C



Gambar 17. Hasil Penarikan pada Temperatur 205°C - 210 °C

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan perancangan untuk kapasitas produksi 1,2 kg/jam, didapatkan dimensi mesin *single screw extruder* dengan spesifikasi panjang *barrel* 600 mm dan diameter *barrel* 48 mm, dengan rasio L/D sebesar 12,5. Panjang *feed section length* sebesar 184,61 mm, *compression section length* sebesar 207,69 mm, *metering section length* sebesar 207,69 mm, *channel width* sebesar 48,2 mm, dan *flight width* sebesar 4,8 mm. Pengujian secara eksperimen dilakukan sebanyak 3 kali. Hasil pengujian yang berhasil ditarik menjadi *filament* adalah pada percobaan pertama dan kedua dengan temperatur optimal untuk material LDPE pada mesin *single screw extruder* yang dirancang adalah 165°C- 190°C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. H. Lipson , M. Kurman, *Fabricated: The New World Of 3D Printing*. Indiana: John Wiley & Sons, 2013.
- [2]. Mamta H. Wakhaha, Satish G. Bahalery, “Design and Development of Plastic Filament Extruder of 3D Printing,” *IRAJ.*, vol. 10, no. 03, hal. 23–40, 2018.
- [3]. Nasution, Reni Silvia, “Berbagai cara Penanggulangan Limbah Plastik”, *Journal of Islamic Science and Technology Vol. 1*, No.1, Juni, 2015.
- [4]. Elvers. B , *Ullmann's Polymers and Plastics Products and Process Volume 1*. Munich: Wiley-VCH, 2016.
- [5]. Harimalairajan, K., “Development Of Plastic Filament Extruder For 3D printing”, *International Journal Of Mechanical and Production Engineering*. vol.4, no. 1, 2016.
- [6]. Girsang, G., “ Studi Rancang Bangun Mesin Single Screw Extruder Portabel Untuk Aplikasi Filament 3D printing” *Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya*, 2018.
- [7]. Agatkhina, K., “Recycling Of HDPE From MSW Waste to 3D Printing”, *Tesis*, Arcada, Helsinki, 2018.
- [8]. Rauwendaal. C , *Polimer Extrusion 5 Edition*. Munich: Hanser Publication, 2014.
- [9]. Kuraray, EVAL™ EVOH Resins and Monolayer Film, [online]. Available: http://www.evalevoh.com/media/156452/01b_eval_-_tech_-_en.pdf
- [10]. Harold F.Giles jr , *Extrusion The Definitive Processing Guide and Handbook*. New Yorks: William Andrew, 2005.