

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Dari hasil perancangan mesin ekstruder generasi ke dua yang dilakukan oleh Wibisono (Wibisono, 2020) menghasilkan rancangan mesin ekstruder dalam posisi horizontal dan dilakukan karakterisasi mesin ekstruder menggunakan desain of experiment dengan faktor temperature pemanas, kecepatan screw dan jarak jatuh filament pada respon keseragaman diameter filament, ovality filament dan rata rata filament dengan bahan uji biji plastik ABS (Akrilonitril Butadiene Stiren). Hasil dari pengolahan data semua faktor tidak ada yang berpengaruh signifikan terhadap respon keseragaman diameter filament, ovality filament, akan tetapi semua faktor berpengaruh signifikan terhadap respon kemampuan mesin terhadap produksi filament. Berdasarkan Uji lanjut Tukey dari semua kombinasi perlakuan didapatkan kombinasi yang terbaik untuk menghasilkan filament yang sesuai dengan ketentuan adalah kombinasi 5 variabel dengan temperature pemanas 190 0C, kecepatan screw 11 rpm dan jarak jatuh filment 70 cm yang sesuai dengan ukuran diameter standart yang biasa digunakan yaitu sebesar 1.7 mm<sup>2</sup>. Dengan hasil tersebut mesin ekstruder mampu bekerja dengan kemampuan produksi rata-rata 650 mm/min dengan ukuran nozzle sebesar 3 mm.

Penelitian yang dilakukan oleh Rony Azmi Faisal dan Herianto, 2019 mengembangkan mesin ekstruder baru dengan material HDPE recycle (tutup botol). Filamen yang berkualitas ditandai daya tahan yang tinggi dan memiliki diameter konstan. Berdasarkan hasil eksperimen menggunakan Anova diketahui respon keseragaman diameter dan ovality filament tidak dipengaruhi oleh factor S (temperature), faktor E (kecepatan screw), faktor P (kecepatan penarik), faktor B (kecepatan blower), faktor S\*E, faktor S\*P, faktor S\*B, faktor E\*P, faktor E\*B, faktor P\*B, faktor S\*E\*P, faktor S\*E\*B, faktor S\*E\*B, faktor S\*P\*B, dan faktor E\*P\*B. hal ini dikarenakan p-value > alpha, selain itu R-square berada dibawah 50% yang mengindikasikan terdapat pengaruh dari faktor lain diluar penelitian. Dari hasil eksperimen menggunakan Anova diketahui respon rata-rata diameter

dipengaruhi oleh faktor E (kecepatan screw), faktor P (kecepatan penarik), faktor S\*E (kombinasi temperature 180°C dan kecepatan screw 15 rpm menghasilkan diameter rata-rata sebesar 1,81), dan faktor E\*P (kombinasi kecepatan screw 15 rpm dan kecepatan penarik 8 rpm dapat menghasilkan rata-rata diameter terkecil sebesar 1,79. HDPE merupakan semi kristal, dengan tensile strength yang lebih rendah dari PLA sebagai pembuatan filamen 3D printing. Filamen yang dihasilkan pada penelitian ini dapat digunakan sebagai kerajinan dan karya seni anyaman seperti dompet, tempat tissue dan lain sebagainya.

Penelitian yang dilakukan oleh Sarah Iftin Atsani dan Herianto, 2019 didasarkan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Penelitian diawali dengan pembuatan desain mesin ekstruder yang dimaksudkan untuk memproses biji plastik daur ulang menjadi filamen. Tahap selanjutnya yaitu proses manufaktur. Setelah itu, dilakukan pengujian terhadap mesin dengan mencoba mengekstrusi bijih recycled polypropylene menjadi filamen dengan memperhatikan parameter seperti extrusion speed, extrusion temperature, dan spooler speed. Pada pengujian pembuatan filamen, ekstrusi yang mencapai target diameter terdekat dicapai oleh setting parameter spooler speed 4 rpm, extrusion speed 40 rpm, dan extrusion temperature 200oC yang menghasilkan rata-rata diameter sebesar 1,6 mm. Hasil perhitungan data pengujian menunjukkan bahwa parameter yang paling berpengaruh pada pengujian ialah extrusion temperature, dan spooler speed. Sedangkan extrusion speed tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap diameter ekstrusi. Namun setelah parameter optimasi didapatkan, hasil akhir menunjukkan kekurangan pada kualitas filamen seperti permukaan yang masih kasar dan mudah melengkung. Sehingga filamen dengan bahan jenis recycled polypropylene belum bisa diaplikasikan untuk membuat objek pada 3D printer.

*Screw* merupakan komponen utama dari sebuah mesin ekstrusi plastik yang berfungsi sebagai poros pendorong, dan pemotong, juga pengaduk plastik panas yang terdapat didalam barrel, masalah yang kerap dialami ekstrusi Plastik untuk pembuatan filament 3d printer selama ini adalah diameter fillment 3d pinter tidak konstan. Dari hasil penelitian diketahui penyebab masalah kegagalan produk kebanyakan adalah kurangnya masukkan bahan kedalam cetakan, dan perlu adanya

perubahan desain pada screw, karena screw merupakan jantungnya dari mesin ekstruder. Desain perencanaan yang akan dilakukan pada Screw adalah sudut Helix pada sirip Screw dengan tujuan agar keluaran (outflow) meningkat, untuk mengurangi cacat produk dengan rata-rata cacat yaitu dimensi produk tidak sama/menyimpang.

## **2.2 Dasar Teori**

Dalam perancangan ini, terdapat beberapa dasar teori yang digunakan sebagai landasan dalam melakukan penelitian dan perancangan. Adapun dasar teori yang dipakai adalah sebagai berikut:

### **2.2.1. Ekstrusi**

Ekstrusi adalah proses untuk membuat benda dengan penampang tetap. Keuntungan dari proses ekstrusi adalah bisa membuat benda dengan penampang yang rumit, bisa memproses bahan yang rapuh karena pada proses ekstrusi hanya bekerja tegangan tekan, sedangkan tegangan tarik tidak ada sama sekali. Aluminium, tembaga, kuningan, baja dan plastik adalah contoh bahan yang paling banyak diproses dengan ekstrusi. Contoh barang dari baja yang dibuat dengan proses ekstrusi adalah rel kereta api. Proses ekstrusi bahan termoplastik mempunyai prinsip yang hampir sama untuk ekstrusi logam hanya saja dalam mengekstrusi bahan polimer tidak lagi menggunakan ram seperti halnya ekstrusi logam, tetapi menggunakan sebuah screw. Bahan baku yang digunakan dalam proses ekstrusi termoplastik ini juga berbeda dengan ekstrusi bahan logam. Jika pada ekstrusi logam bahan baku yang dimasukkan dalam bentuk batangan, plat ataupun lembaran. Pada ekstrusi polimer bahan baku yang digunakan adalah dalam bentuk biji plastik (pellet). Secara umum ekstrusi pada termoplastik adalah suatu proses pembentukan material dengan cara di panaskan hingga mencapai titik leleh dan melebur akibat panas dari luar atau akibat panas gesekan yang kemudian dialirkan ke cetakan oleh screw untuk menghasilkan material dengan bentuk penampang sesuai dengan bentuk lubang cetakan (die). Proses ekstrusi adalah proses continue

yang menghasilkan beberapa produk seperti, film plastik, tali rafia, pipa, pelet, lembaran plastik, fiber, filamen, selubung kabel, dan beberapa produk lainnya.

### **1.2.2 Plastik**

Plastik adalah suatu polimer yang mempunyai sifat-sifat unik dan luar biasa. Polimer adalah suatu bahan yang terdiri dari unit molekul yang disebut monomer. Jika monomernya sejenis disebut homopolimer, dan jika monomernya berbeda akan menghasilkan kopolimer.(Mujiarto, 2005).

Berdasarkan kegunaannya dan pertimbangan ekonomis, plastik dibagi menjadi dua klasifikasi utama: plastik komoditi dan plastik teknik. Plastik komoditi dicirikan oleh volumenya yang tinggi dan harga yang murah. Mereka sering dipakai dalam bentuk barang yang bersifat pakai buang seperti lapisan pengemas, namun ditemukan juga pemakaiannya dalam barang-barang yang tahan lama. Beberapa contoh jenis plastik komoditi serta penggunaannya antara lain : LDPE (low density polyethylene) sebagai lapisan pengemas, isolasi kawat dan kabel, barang mainan, botol fleksibel, HDPE (high density polyethylene) digunakan sebagai botol, drum, pipa saluran, lembaran, film, isolasi kawat dan kabel, PP (polypropylene) digunakan sebagai bagian dan perkakas mobil, tali, anyaman, karpet, PVC (poly vinyl chloride) digunakan sebagai bahan bangunan, pipa, bahan untuk lantai dan PS (poly styrene) digunakan sebagai bahan pengemas (busa dan film), perkakas, perabotan rumah dan barang mainan. Plastik-plastik teknik yang utama, diantaranya adalah : poliformaldehida, poliamida, poliester. Beberapa penggunaan dari plastik teknik terutama dalam bidang transportasi, konstruksi, barang-barang listrik dan elektronik serta mesin industri.(Suharty,2012).

### **1.2.3 Filamen 3D Printer**

Filamen pada 3D printer adalah material yang digunakan untuk mencetak desain yang telah dibuat melalui perangkat lunak di komputer. Ukuran diameter filamen yang sesuai standar adalah 1.75 mm namun ada juga jenis 3D printer rakitan yang memakai filamen dengan ukuran diameter 3 mm. Ada banyak jenis material yang bisa dibuat menjadi filament, yaitu terbuat dari acrylonitrile butadiene styrene (ABS), dan polylactide (PLA), PETG (Glycol-modified PET), dan *High-density polyethylene* (HDPE).

HDPE merupakan filamen plastik yang dapat didaur ulang. Filamen ini sangat ramah lingkungan, sehingga dapat menjaga bumi dari limbah plastik karena dapat terus didaur ulang. HDPE biasanya digunakan sebagai wadah susu, bungkus deterjen, dan berbagai macam produk lainnya. Salah satu keunggulan HDPE adalah memiliki rasio kekuatan dengan densitas yang merata dan sifatnya yang tahan korosi, sedangkan kelemahannya adalah memerlukan temperatur pemanasan yang tinggi.

PETG filamen (*Glycol-modified PET; Co polyesters*) adalah senyawa plastik yang satu famili dengan PET (*Polyethylene terephthalate*). Memiliki pengabungan keunggulan dari senyawa plastik ABS dan PLA, serta memiliki warna yang bening/transparan dan kilap.(Putra,2018).



Gambar 2.1 PLA, ABS and HDPE *comparison* [Suitability of recycled HDPE for 3D printing filament]

### 1.3 Mesin Ekstrusi *Single Screw*

Mesin ekstrusi *single screw* untuk pembuatan filamen 3D *printer* ini adalah alat yang dapat merubah material dari bentuk cacahan sampah plastik diekstrusi

(perubahan dari bentuk padat menjadi cair) melalui berbagai tahapan-tahapan

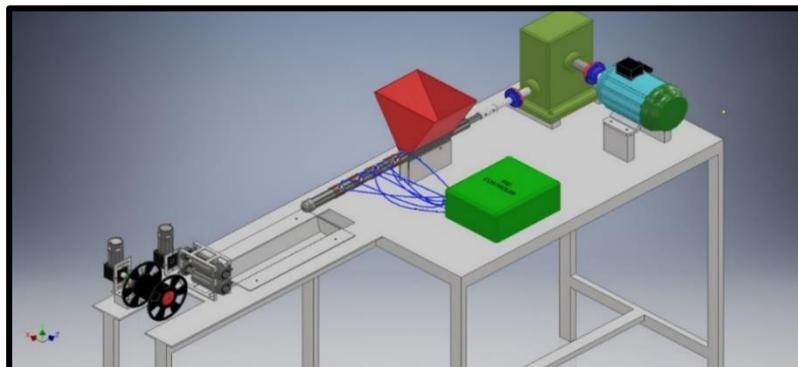
*Table 7 Comparison table for 3D filament*

Tests	PLA	ABS	Tested HDPE (Mean Value)	Tested rHDPE (Mean Value)
Melt index (g/10min)	2.4 – 4.3	22- 48	3,37	2,85
Tensile Strength (MPa)	50 - 55	30 - 52	25,45	25,59
Young's modulus (MPa)	3500	1700 – 2800	463,35	428,38
Strain at Yield (%)	10 - 100	3 – 75	16,12	16,12
Melting temperature (°C)	120 - 190	200 - 230	190	190
Extruding Temperature (°C)	160 – 220	210- 230	190	160 - 190

panas.

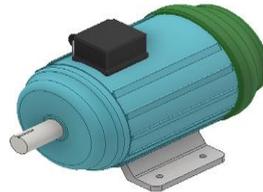
Prinsip ekstrusi pada thermoplastik adalah proses pada material sampai mencapai meleleh akibat panas dari luar / panas gesekan dan yang kemudian dialirkan ke die oleh screw yang kemudian dibuat produk sesuai bentuk yang diinginkan. Proses ekstrusi adalah proses kontinyu yang menghasilkan beberapa produk seperti filamen 3D *printer*.

Pada mesin ekstrusi *single screw* pembuat filamen 3D *printer* ini ditambahkan pendingin hasil ekstrusi dan juga spooler sebagai alat bantu untuk menggulung filamen 3D *printer*.



Gambar 2.2 Mesin ekstrusi *single screw*

Komponen-komponen utama Mesin ekstrusi *single screw* untuk pembuatan filamen 3D *printer* adalah motor listrik , *gearbox*, *pulley*, *belt*, *screw press*, *barel*, *heater*, dan *hopper*.



Gambar 2.3 Motor listrik

Motor listrik adalah Unit penggerak (driver unit) untuk mesin ekstrusi ini merupakan sebuah motor listrik 1-fasa dengan putaran 1420 rpm, daya 1 HP, dan tegangan sebesar 220 Volt.



Gambar 2.4 *Gearbox*

*Gearbox* reduksi berfungsi sebagai pereduksi putaran.



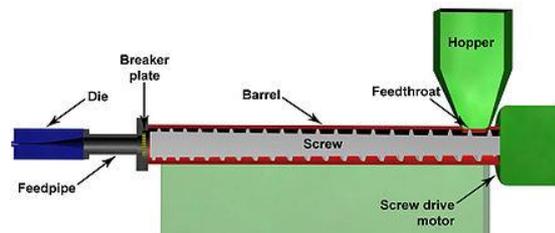
Gambar 2.5 *Screw Press* dan Barel

*Screw* berfungsi sebagai poros pendorong, pemotong, dan pengaduk plastik panas yang terdapat di dalam barrel. Barrel adalah komponen pasangan *screw* yang berbentuk selongsong yang merupakan ruang pemanas dimana *screw* berada di dalamnya. Barrel berfungsi sebagai tempat proses plastisisasi, tempat dimana berlangsungnya proses pengumpanan, pemanasan, dan pengadukan.



Gambar 2.6 Heater

Elemen pemanas (heater element) adalah komponen yang menghasilkan panas untuk pemrosesan plastik pada mesin ekstrusi ini. Elemen ini terdiri dari tiga buah dan dipasang pada barrel.



Gambar 2.7 Hopper

Hopper biasanya terbuat dari lembaran baja atau stainlesssteel yang berbentuk untuk menampung sejumlah bahan pellet plastik untuk stok beberapa jam.

#### 1.4. Penelitian Terdahulu

Hasil komparasi beberapa informasi pustaka terkait dengan analisa keakuratan diameter *filament 3D printer* menggunakan mesin ekstrusi *single screw* dengan variasi *temperature* yang disarikan pada tabel 2.1 dengan penjelasannya sebagai berikut.

Penelitian yang dilakukan oleh Rony Azmi Faisal dan Herianto, 2019 mengembangkan mesin ekstruder baru dengan material HDPE recycle (tutup botol). Filamen yang berkualitas ditandai daya tahan yang tinggi dan memiliki diameter konstan. Berdasarkan hasil eksperimen menggunakan Anova diketahui respon keseragaman diameter dan ovality filament tidak dipengaruhi oleh factor S (temperature), faktor E (kecepatan screw), faktor P (kecepatan penarik), faktor B (kecepatan blower), faktor S\*E, faktor S\*P, faktor S\*B, faktor E\*P, faktor E\*B, faktor P\*B, faktor S\*E\*P, faktor S\*E\*B, faktor S\*E\*B, faktor S\*P\*B, dan

faktor E\*P\*B. hal ini dikarenakan p-value > alpha, selain itu R-square berada dibawah 50% yang mengindikasikan terdapat pengaruh dari faktor lain diluar penelitian. Dari hasil eksperimen menggunakan Anova diketahui respon rata-rata diameter dipengaruhi oleh faktor E (kecepatan screw), faktor P (kecepatan penarik), faktor S\*E (kombinasi temperature 180<sup>0</sup>C dan kecepatan screw 15 rpm menghasilkan diameter rata-rata sebesar 1,81), dan faktor E\*P (kombinasi kecepatan screw 15 rpm dan kecepatan penarik 8 rpm dapat menghasilkan rata-rata diameter terkecil sebesar 1,79. HDPE merupakan semi kristal, dengan tensile strength yang lebih rendah dari PLA sebagai pembuatan filamen 3D printing. Filamen yang dihasilkan pada penelitian ini dapat digunakan sebagai kerajinan dan karya seni anyaman seperti dompet, tempat tissue dan lain sebagainya.

Penelitian yang dilakukan oleh Chandra Andreas Setyo Wibisono dkk, 2020 Tujuan dari alat ini yaitu mengontrol kecepatan putaran motor dc stepper agar pada proses penggulungan hasil cetak daur ulang filament 3D Printing tidak menumpuk pada satu sisi. Pemposisi hasil cetak gulungan filament 3D Printing ini dirancang dengan menggunakan beberapa komponen dan mekanik yang terdiri dari : Motor DC Stepper, Sensor Rotary Encoder, Sensor Optocoupler, Sensor Obstacle Infrared dan Sistem pengendalian menggunakan Arduino Mega dan Kontrol PID. Sistem ini berfungsi mengontrol kecepatan putar motor dc stepper hasil dari cetakan filament (3D Printing) diharapkan dari motor stepper dapat selaras dengan motor di penggulungan. Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa pengaturan kecepatan otomatis telah berhasil dibuat dan bekerja dengan baik. Berikut ini adalah kesimpulan lain yang didapatkan : 1. Berdasarkan perancangan yang telah dilakukan bahwa nilai parameter Kp, Ki, dan Kd didapatkan dengan perhitungan metode Ziegler Nichols dengan nilai Kp = 11,122, Ki = 0,33, Kd = 0,95. Memiliki rise time (tr) sebesar 0,14 s, settling time (ts) 51 s, peak time (tp) 6,9 s dan Percent Overshoot (Po) sebesar 38,77%. 2. Untuk hasil respon sistem dengan perancangan dirasa kurang baik sehingga diperbaiki dengan trial error ditemukan nilai Kp = 0,8 dan Ki = 0,42 dan Kd = 0,05 pada motor stepper dalam proses pemposisi filament (3D Printing), metode PID trial error mampu mempercepat

sistem menuju setpoint yang ditentukan. Diperoleh Percent Overshoot (PO) 12,3 %, Rise Time (TR) 1,3 s saat setpoint 40 rpm, Settling Time (TS) 18,4 s saat 39,98 rpm, Peak Time (TP) 2,1 s saat 44,93 rpm. 3. Untuk hasil pengujian sistem dilakukan dengan 2 percobaan Gain dan didapatkan Gain 0,8 dengan hasil penggulungan yang lebih rapi dikarenakan kecepatan motor stepper (Alignment) selaras dengan motor dc (Winding).

Penelitian yang dilakukan oleh R. A. Tya, Y. Setyoadi dan A. Burhanudin, 2020 berfokus memproduksi biji plastik (ABS) dan mendaur ulang sisa hasil cetakan 3D printer yang terbuang atau tidak terpakai. Proses perancangan mesin filament extruder terdiri dari Arduino Mega 2560 sebagai komponen utama. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah biji plastik Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) warna putih dengan kisaran temperatur titik leleh mulai dari 200°C – 210°C. Dari hasil yang telah didapatkan, kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini kurang lebih antara lain: 1. Alat filament extruder dirancang untuk melakukan ekstruksi filament ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) dengan sistem arduino mega. Dan di aplikasikan menggunakan alat potensiometer untuk mengatur kecepatan motor pendorong ulir dan saklar pemutus kontak on/off. Sedangkan untuk pengatur suhu menggunakan alat REX C100. 2. Dari tiga kali percobaan menggunakan suhu 200°C, 205°C, dan 210°C pada ketiga percobaan yang paling mendekati sesuai standard filament ABS adalah dengan suhu 205°C yang menghasilkan filamen berdiameter 1,75 mm.

Penelitian yang dilakukan oleh Irvan Okatama, 2016 berfokus pada analisa peleburan limbah plastik jenis polyethylene terephthalate (PET) menjadi biji plastik melalui pengujian alat pelebur plastik. Alat pelebur plastik ini menggunakan alat pemanas Heater Band dan Heater Nozzle dengan suhu mencapai 100°C - 300°C. Kapasitas produksi potongan plastik bisa mencapai 1 kilogram, bahan plastik Polyethylene Terephthalate (PET) melunak pada suhu 180°C dan mencair secara sempurna pada suhu 200°C. Alat ini menguji dengan berat yang berbeda diantaranya 100 gram, 200 gram dan 300 gram masing-masing membutuhkan waktu 615 detik, 723 detik, dan 870 detik. Berkurangnya bahan plastik karena terjadi penyusutan selama dilebur yaitu mencapai 35 gram - 80 gram.

Penelitian yang dilakukan oleh Sarah Iftin Atsani dan Herianto, 2019 didasarkan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Penelitian diawali dengan pembuatan desain mesin ekstruder yang dimaksudkan untuk memproses biji plastik daur ulang menjadi filamen. Tahap selanjutnya yaitu proses manufaktur. Setelah itu, dilakukan pengujian terhadap mesin dengan mencoba mengekstrusi bijih recycled polypropylene menjadi filamen dengan memperhatikan parameter seperti extrusion speed, extrusion temperature, dan spooler speed. Pada pengujian pembuatan filamen, ekstrusi yang mencapai target diameter terdekat dicapai oleh setting parameter spooler speed 4 rpm, extrusion speed 40 rpm, dan extrusion temperature 200oC yang menghasilkan rata-rata diameter sebesar 1,6 mm. Hasil perhitungan data pengujian menunjukkan bahwa parameter yang paling berpengaruh pada pengujian ialah extrusion temperature, dan spooler speed. Sedangkan extrusion speed tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap diameter ekstrusi. Namun setelah parameter optimasi didapatkan, hasil akhir menunjukkan kekurangan pada kualitas filamen seperti permukaan yang masih kasar dan mudah melengkung. Sehingga filamen dengan bahan jenis recycled polypropylene belum bisa diaplikasikan untuk membuat objek pada 3D printer.

Penelitian yang dilakukan oleh Anurogo Banjaransari dkk, 2020 Mesin penggulung filamen adalah mesin yang digunakan untuk menggulung filamen 3D Printer dari hasil mesin ekstrusi plastik. Perancangan mesin penggulung filamen bertujuan untuk menambah produktifitas mesin ekstrusi plastik E20T Dr.Collin di PUTP Politeknik ATMI Surakarta. Metode yang dipakai dalam proses ini mencakup empat tahap: pengumpulan data awal, perancangan, pembuatan gambar dan perencanaan permesinan. Mesin penggulung filamen berfokus pada filamen 3D printer jenis PolyLactic-Acid(PLA) diameter 1,75mm. Mesin penggulung filamen memiliki tiga cara kerja utama: penarik filamen, penggerak linier filamen(traverse) dan penggulung filamen(spooler). Pada mesin penggulung memiliki dua pengembangan yaitu penghitung panjang filamen yang sudah digulung dan penegang filamen. Mesin penggulung filament dapat menanggung throughput maksimal 1686,592 gram/jam dengan waktu tercepat 36,29613 menit. Mesin penggulung filamen tidak memerlukan perawatan atau

pelumasan yang rumit karena bahan yang digunakan tahan karat. Mesin penggulung filamen dioperasikan secara manual dengan putaran motor dikendalikan oleh operator.

Penelitian yang dilakukan oleh Dani Irawan dan Rahayu Mekar Bisono, 2018 Tujuan penelitian ini adalah merancang serta memfabrikasi mesin ekstrusi single screw sebagai media pembelajaran proses ekstrusi pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Kediri. Dalam penelitian ini memvariasikan temperatur proses terhadap temperatur melting, pada putaran konstan yang akan menghasilkan beberapa karakteristik bentuk produk yang berbeda. Hasil rancangan dan