

**PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUDER *SINGLE SCREW*
UNTUK MENDAUR ULANG LIMBAH *3D PRINTING***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Budi Wijayanto Atmoko

No. Mahasiswa : 15525070

NIRM : 2015011752

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING
PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUDER *SINGLE SCREW*
UNTUK MENDAUR ULANG LIMBAH *3D PRINTING*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Budi Wijayanto Atmoko

No. Mahasiswa : 15525070

NIRM : 2015011752

Yogyakarta, 30 Agustus 2022

Pembimbing,

Faisal Arif Nurgesang, ST., M.Sc.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI
PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUDER *SINGLE SCREW*
UNTUK MENDAUR ULANG LIMBAH *3D PRINTING*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Budi Wijayanto Atmoko
No. Mahasiswa : 15525070
NIRM : 2015011752

Tim Penguji

Faisal Arif Nurgesang ST., M.Sc

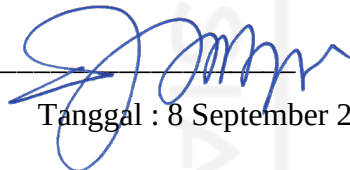
Ketua

Tanggal :

Ir. Santo Ajie Dhewanto ST.,

M.M. IPP

Anggota I



Tanggal : 8 September 2022

Irfan Aditya Dharma, S.T.,

M.Eng., Ph.D.

Anggota II



Tanggal : 1 September 2022

Mengetahui

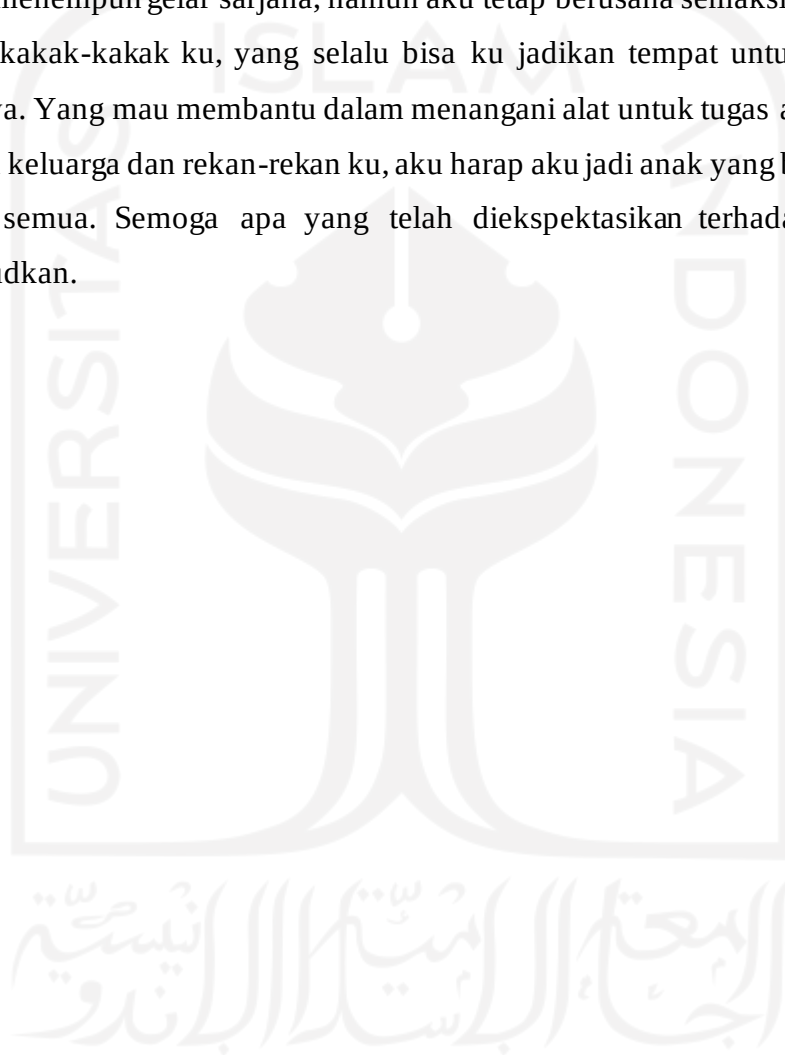
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Eng. Risdiyono., S.T., M.Eng

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karyaku ini ku persembahkan teruntuk :

Bapak dan Mamaku, yang ku sayang selalu. Yang telah memberikan dukungan, doa, materi dan kasih sayang maupun perhatiannya. Sehingga aku dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Maaf jikalau memang anakmu ini sedikit terlambat dalam menempuh gelar sarjana, namun aku tetap berusaha semaksimal mungkin. Untuk kakak-kakak ku, yang selalu bisa ku jadikan tempat untuk curhat dan bertanya. Yang mau membantu dalam menangani alat untuk tugas akhir. Kepada seluruh keluarga dan rekan-rekan ku, aku harap aku jadi anak yang berguna untuk kalian semua. Semoga apa yang telah diekspektasikan terhadap ku, dapat terwujud.



HALAMAN MOTTO

*“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.
Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan),
tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya
kepada Tuhanmulah engkau berharap.”
(QS. Al-Insyirah 6-8)*

*"Sura dira jaya dningrat, lebur dening pangastuti"
(segala sifat angkaramurka hanya bisa dikalahkan dengan
sikap bijak lembut dan sabar)*

*“Semua akan selalu terlihat tidak mungkin, hingga akhirnya
kau dapat menyelesaikannya”-Albert Einstein*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan mengucapkan alhamdulillah, segala puji dan syukur terlimpahkan bagi Allah SWT, atas berkat rahmat dan ridho-Nya maka penulisan ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam tercurah kepada Rasulullah SAW sebagai pembawa rahmat di muka bumi.

Tugas Akhir dengan judul “Pengembangan Mesin Ekstruder Single Screw Untuk Mendaur Ulang Limbah 3D Printing “ dibuat sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Dengan segenap ketulusan hati, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Allah SWT dan junjungan Nabi Muhammad SAW.
2. Bapak dan Ibu tercinta, atas perhatian, kasih sayang, dan dukungan semoga Allah SWT membalas semuanya dan mempermudah segala urusannya.
3. Bapak Faisal Arif Nurgasang, S.T., M.Sc. Selaku Dosen Pembimbing tugas akhir.
4. Semua Dosen jurusan Teknik Mesin FTI UII yang telah mendidik dan membagikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan bangku kuliah.
5. Mas Fariz Alfian selaku laboran laboratorium Mekatronika.
6. Mas Adi selaku laboran laboratorium Proses Produksi.
7. Teman-teman Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin FTI UII
8. Saudara-saudara Teknik Mesin Angkatan 2015.
9. Pak Sukirno dan Bu Umi sebagai Admin Teknik Mesin FTI UII. Yang telah membantu dalam mengurus administrasi maupun keperluan penulis.
10. Semua pihak yang telah membantu penulis, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu namanya.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini tidak lepas dari kekurangan dan keterbatasan. Penulis mohon maaf dengan ketulusan hati seandainya dalam penulisan laporan tugas akhir ini terdapat kekeliruan. Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat ataupun memberi sedikit ilmu pengetahuan dan dapat berguna kepada pihak-pihak yang berkepentingan dan yang membutuhkan.

Yogyakarta, 13 Maret 2022



Budi Wijayanto Atmoko



ABSTRAK

3D *printing* merupakan salah satu teknologi additive manufacturing yang berkembang pesat dan mulai banyak digunakan di berbagai macam sektor. Melalui teknologi ini, proses pembuatan model, purwarupa, bahkan produk yang dapat digunakan langsung dapat dicetak dengan waktu yang relatif singkat. Seiring dengan penggunaan teknologi 3D *printing* yang semakin banyak, limbah dari proses pencetakan model, purwarupa, dan produk jadi juga semakin meningkat. Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan pembuatan mesin *extruder single screw* untuk mendaur ulang limbah 3D *printing*. Namun demikian, masih terdapat kekurangan yaitu diameter filamen yang dihasilkan belum merata. Penelitian ini bertujuan untuk menyempurnakan mesin yang telah dibuat sebelumnya dengan menambahkan beberapa mekanisme untuk menghasilkan diameter filamen yang lebih merata. Berdasarkan proses pengembangan yang dilakukan, untuk menghasilkan diameter filamen yang lebih merata, beberapa mekanisme telah ditambahkan yaitu pendinginan dan penggulangan. Proses pendinginan dilakukan melalui hembusan kipas dan proses penggulangan dilakukan menggunakan motor listrik yang dapat diatur kecepatannya. Dari penambahan kedua mekanisme tersebut, filamen yang dihasilkan memiliki diameter yang lebih merata sebesar 1.7 mm dan menghasilkan filamen yang tidak terputus sepanjang 120 cm/menit.

Kata kunci : daur ulang, limbah 3D *printing*, mesin *extruder*

ABSTRACT

3D printing is one of the additive manufacturing technologies that is growing rapidly and is starting to be widely used in various sectors. Through this technology, the process of making models, prototypes, and even products that can be used directly can be printed in a relatively short time. Along with the increasing use of 3D printing technology, the waste from the process of printing models, prototypes, and finished products is also increasing. In a previous study, a single screw extruder machine was made to recycle 3D printing waste. However, there are still shortcomings, namely the diameter of the resulting filament is not evenly distributed. This study aims to improve the machine that has been made previously by adding several mechanisms to produce a more even filament diameter. Based on the development process carried out, to produce a more even diameter of the filament, several mechanisms have been added, namely cooling and winding. The cooling process is carried out through a fan blowing and the winding process is carried out using an electric motor that can be adjusted in speed. From the addition of these two mechanisms, the resulting filament has a more even diameter of 1,7 mm and produces an broken filament of 120 cm/min.

Keywords: recycling, 3D printing waste, extruder machine

DAFTAR ISI

HALAMAN

JUDUL.....	I
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING.....	II
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	3
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	IV
KATA PENGANTAR.....	V
ABSTRAK.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
DAFTAR ISI.....	X
DAFTAR GAMBAR.....	XII
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	2
1.3 BATASAN MASALAH.....	2
1.4 TUJUAN PERANCANGAN	2
1.5 MANFAAT PERANCANGAN	2
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 KAJIAN PUSTAKA	4
2.2 DASAR TEORI	5
2.2.1 Prinsip Kerja Mesin Ekstrusi.....	5
2.2.2 Jenis-Jenis Plastik yang Dapat Didaur Ulang.....	6
2.2.3 Filamen 3D Printing.....	8
2.2.4 Menghitung Kecepatan Putar Penggulung.....	10
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	11
3.1 ALUR PENELITIAN	11
3.2 IDENTIFIKASI MASALAH	12
3.3 KRITERIA DESAIN.....	12
3.4 ALAT DAN BAHAN.....	12
3.5 LANGKAH-LANGKAH MENGOPE RASIKAN MESIN <i>EXTRUDER</i>	13

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	14
4.1 HASIL DESAIN PENGEMBANGAN MESIN <i>EXTRUDER</i>	14
4.2 PENENTUAN KECEPATAN MOTOR PENGULUNG	15
4.3 PEMBUATAN RANGKA MESIN <i>EXTRUDER</i>	16
4.4 PEMBUATAN MEKANISME PENDINGIN DAN PENGULUNG	17
4.5 HASIL PENGUJIAN MESIN <i>EXTRUDER</i>	18
4.6 KENDALA YANG DITEMUKAN	19
BAB 5 PENUTUP.....	21
5.1 KESIMPULAN.....	21
5.2 SARAN.....	21
DAFTAR PUSTAKA.....	22



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mesin ekstruder thermoplastik.....	5
Gambar 2.2 Plastik jenis PET dan PETE	6
Gambar 2.3 Plastik jenis HDPE.....	7
Gambar 2.4 Plastik jenis LDPE.....	7
Gambar 2.5 Plastik jenis PP	8
Gambar 2.6 Filamen ABS.....	9
Gambar 2.7 Filamen PLA	9
Gambar 3.1 Dagram alir penelitian.....	11
Gambar 4.1 Desain mesin <i>extruder</i> hasil pengembangan.....	14
Gambar 4.2 Kipas dan penggulung.....	15
Gambar 4.3 a) Poses pemotongan baja hollow, b) proses pengelasan rangka, dan	17
Gambar 4.4 Hasil perakitan mekanisme a) pendingin b) penggulung	18
Gambar 4.5 Hasil penggulangan filamen.....	18
Gambar 4.6 Pengukuran panjang filamen	19
Gambar 4.7 Filamen yang keluar dari <i>nozzle</i> terlalu cair.....	20
Gambar 4.8 Proses pembuatan bijih limbah PLA.....	20

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, teknologi 3D printing merupakan salah satu teknologi additive manufacturing yang berkembang sangat pesat. Banyak perusahaan dan institusi pendidikan yang menggunakan teknologi ini untuk pembuatan model, purwarupa, maupun produk yang dapat digunakan langsung. Seiring dengan meningkatnya penggunaan teknologi 3D printing, jumlah limbah yang dihasilkan juga meningkat. Salah satu peningkatan limbah 3D *printing* yang cukup signifikan adalah di Laboratorium CAD/CAM/CAE Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

Saat ini, banyak penelitian-penelitian mahasiswa yang menggunakan mesin 3D *printer* dan tentunya terdapat beberapa proses yang tidak diinginkan sehingga menghasilkan limbah seperti produk gagal cetak dan sisa support pada produk yang dibuat. Untuk mengurangi limbah yang dihasilkan, diperlukan sebuah inovasi salah satunya adalah membuat mesin yang dapat mendaur ulang limbah tersebut. Telah dilakukan penelitian sebelumnya oleh Tondi (2019) yaitu pembuatan mesin *extruder single screw* untuk membuat filamen dari limbah proses 3D *printing*. Namun demikian, mesin yang dibuat masih memiliki beberapa kekurangan seperti diameter filamen yang dihasilkan belum merata dan belum memiliki mekanisme penggulungan pada filamen yang keluar dari *nozzle* mesin *extruder* tersebut. Oleh karena itu, diperlukan sebuah pengembangan guna menyempurnakan mesin tersebut. Alternatif yang dapat diterapkan adalah dengan menambahkan proses pendinginan dan penggulungan filamen yang keluar dari *nozzle* mesin *extruder*. Dengan menambahkan mekanisme ini, diharapkan dapat menyempurnakan alat yang telah dibuat sebelumnya dan dapat semakin mengurangi limbah proses 3D *printing*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana cara membuat mekanisme pendingin dan penggulung pada mesin *extruder single screw* agar menghasilkan filamen dengan ukuran yang lebih panjang dan diameter yang lebih merata?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada perancangan ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis limbah yang didaur ulang adalah filamen jenis PLA.
2. Desain dibuat menggunakan *software Autodesk Inventor*.
3. Peneliti hanya fokus pada pembuatan pendingin dan penggulung filamen pada mesin *extruder single screw*.
4. Suhu heater band yang digunakan adalah berkisar antara 160-162 °C.

1.4 Tujuan Perancangan

Adapun tujuan dari perancangan ini adalah mengembangkan mesin *extruder single screw* untuk menghasilkan filament yang memiliki ukuran lebih panjang dan diameter lebih merata dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dengan menambahkan mekanisme pendingin dan penggulung.

1.5 Manfaat Perancangan

Manfaat dari perancangan alat ini yaitu dapat mengurangi limbah hasil 3D printing di Laboratorium Teknik Mesin UII.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pemahaman dalam penulisan perancangan ini, maka dibuatlah sebuah susunan sistematika penulisan diantaranya adalah sebagai berikut: BAB 1 PENDAHULUAN: Menjelaskan tentang latar belakang dilakukannya penelitian ini, rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA: Menjelaskan tentang kajian pustaka dan dasar teori serta informasi yang mendukung jalannya sebuah penelitian.

BAB 3 METODE PENELITIAN: Menguraikan hasil penelitian yang sudah dilakukan untuk selanjutnya dibahas mengenai hasil penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN: Menguraikan hasil penelitian yang sudah dilakukan untuk selanjutnya dibahas mengenai hasil penelitian tersebut.

BAB 5 PENUTUP: Berisi pernyataan yang merupakan kesimpulan serta saran-saran yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Seiring dengan semakin banyaknya penggunaan mesin 3D printer untuk mencetak produk menggunakan filamen, limbah yang dihasilkan juga meningkat. Untuk mengurangi limbah tersebut, sebuah perancangan telah dilakukan untuk membuat sebuah alat yang dapat mencetak kembali dalam bentuk filamen yaitu mesin *extruder single screw*. Perancangan ini telah dilakukan oleh Tondi (2019). Mesin yang dibuat mampu melunakkan limbah 3D printing berbahan PLA menjadi filamen. Akan tetapi, masih banyak terdapat beberapa kekurangan dalam perancangan mesin ini yaitu belum adanya pendingin dan penggulung pada mesin *extruder* yang dibuat. Filamen yang keluar dari *nozzle* hanya dibiarkan jatuh secara alami sehingga diameter filamen yang dihasilkan tidak merata dan masih sering terputus.

Pada perancangan lainnya yang dilakukan oleh Iskandar (2019), untuk memperoleh filamen yang lebih baik, terdapat sebuah mekanisme yang ditambahkan setelah filamen yang keluar dari lubang *nozzle* yaitu mekanisme puller dan penambahan kipas pendingin. Dari hasil yang disampaikan, filamen yang dibuat memiliki diameter yang lebih merata dan tidak mudah terputus. Selain itu, perancangan lainnya yang dilakukan oleh (Djafar & Fatoni, 2021) menghasilkan sebuah mesin *extruder single screw* yang memiliki mekanisme penggulung. Dengan mekanisme tersebut, dapat membuat sebanyak 1,2 kg/jam filament.

Berdasarkan beberapa perancangan yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya, untuk menyempurnakan mesin *extruder* yang telah dirancang oleh Tondi (2019), penulis akan menambahkan mekanisme pendingin dan penggulung agar menghasilkan filament yang memiliki ukuran lebih panjang dan diameter lebih merata.

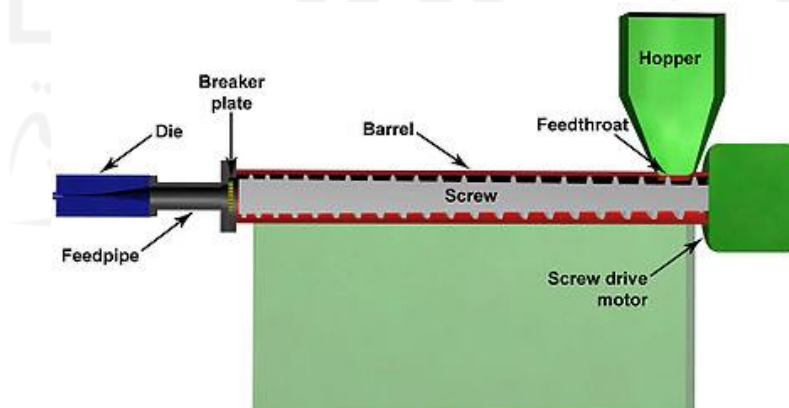
2.2 Dasar Teori

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

2.2.1 Prinsip Kerja Mesin Ekstrusi

Ekstrusi adalah proses yang berkesinambungan selama bahan baku plastik meleleh dan dibentuk menjadi panjang secara terus menerus dengan profil konstan. Ekstruder yang biasa tersedia di pasaran adalah jenis *extruder* ulir tunggal dan ekstruder ulir ganda (*twin*) yang dapat digunakan secara luas pada produksi bahan-bahan daur ulang. Model ini merupakan pilihan yang tepat untuk melakukan pembentukan ulang bahan yang sudah tidak terpakai lagi. Hal ini dikarenakan kemampuannya yang baik dalam mengatur daya tekan mekanis di dalam barrel mesin ekstruder.

Karena termoplastik dapat melunak dan dibuat mengalir dengan aplikasi panas, maka dapat dibuat oleh proses seperti *injection moulding*, dan ekstrusi (M.R Kamal, W.Patterson, 2011). Karena keterbatasan proses yang dilakukan ekstruder terdahulu maka ekstruder yang menggunakan ulir di ciptakan untuk kebutuhan industri kabel. Konsep awal yang diketahui mengenai ekstruder ulir tunggal ditemukan di tahun 1873 oleh Phoenix Gummiwarke A.G. seperti dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Mesin ekstruder thermoplastik

2.2.2 Jenis-Jenis Plastik yang Dapat Didaur Ulang

Plastik dapat kita jumpai dimana saja, bahkan penggunaan sampah plastik dari tahun-ketahun semakin meningkat hal ini tentu dapat berdampak buruk bagi kita semua karena akan dapat membuat lingkungan sekitar kita menjadi tercemar, sehingga untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan daur ulang, cara daur ulang plastik ini memiliki banyak keuntungan, seperti menghemat energi dan menekan penggunaan ruang TPA. Ada beberapa langkah yang dilakukan sebelum melakukan daur ulang plastik, yang utama adalah proses *sorting* atau pemilahan, *washing* (pencucian), *resizing* (perubahan ukuran), identifikasi dan pemisahan plastik, *compounding* (penggabungan), Beberapa contoh jenis yang dapat didaur ulang diantaranya adalah:

1. PET atau PETE (*polyethylene terephthalate*)

Jenis plastik ini biasanya sering ditemukan pada air kemasan. Wujudnya transparan dan cenderung tipis. Lapisan plastik jenis ini mudah meleleh jika terkena suhu tinggi. Contoh plastik jenis PET dan PETE dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Plastik jenis PET dan PETE

2. HDPE (*high density polyethylene*)

Jenis plastik ini wujudnya kaku, keras, buram, dan lebih tahan terhadap suhu tinggi. Namun masih dapat didaur ulang. Plastik jenis ini biasanya ditemukan pada wadah minuman komersial (susu, jus, soda) kemasan shampo, cairan pembersih, bahan kimia, dan sejumlah kantong plastik. Contoh plastik jenis HDPE dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Plastik jenis HDPE

LDPE (*low density polyethylene*)

LDPE merupakan thermoplastik yang terbuat dari minyak bumi dan masih bisa di daur ulang, contohnya menjadi tas, tempat sampah, hingga ubin lantai. Jenis plastik ini umumnya di temukan pada kantong plastik tipis transparan, kantong belanja, maupun botol minuman yang dapat di remukkan. Contoh plastik jenis LDPE dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Plastik jenis LDPE

3. PP (Polypropylene)

Polypropylene (PP) merupakan jenis plastik terbaik yang kuat dan tahan terhadap panas, serta cukup resisten terhadap kelembapan, minyak, dan bahan kimia. Jenis plastik ini dapat di daur ulang menjadi kotak baterai, keranjang sepeda, sedotan ataupun gelas. Contoh plastik jenis PP dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Plastik jenis PP

2.2.3 Filamen 3D Printing

Filamen 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. Material yang digunakan untuk membuat *3D printer* adalah *thermoplastic* yang memiliki sifat tangguh, kuat dan mudah dibentuk. Hal ini juga yang mendasari kualitas filamen tersebut. Semakin kuat dan bagus bentuk benda yang dihasilkan oleh filamen maka semakin tinggi pula kualitas filamen tersebut. Filamen yang menjadi bahan untuk membentuk model 3D banyak jenisnya. Saat ini jenis filamen untuk *3D printing* ini memang didominasi oleh jenis plastik dan turunannya. Setiap bahan memiliki kelebihan dan kekurangannya. Terdapat dua jenis filamen yang paling banyak digunakan yaitu filamen ABS dan PLA. Adapun kekurangan dan kelebihan kedua filamen tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. ABS (*Acetonitrile Butadiene Styrene*)

Acetonitrile Butadiene Styrene atau ABS adalah salah satu bahan yang banyak digunakan untuk filamen mesin printer 3D. ABS memiliki keunggulan yaitu stabil dengan suhu dan paparan kimia. Akan tetapi, kekurangan dari bahan ABS ini adalah tidak bisa diuraikan secara alami karena merupakan plastik sintetis. Selain itu, filamen jenis ABS butuh suhu tinggi sehingga daya yang dipakai juga besar.

Contoh gulungan filamen jenis ABS yang tersedia di pasaran dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Filamen ABS

2. PLA (*Polylactic acid*)

PLA merupakan jenis filamen yang banyak digunakan karena bahan bakunya yang alami sehingga akan terurai kalau dibuang ke tanah. Secara harga, produk ini cenderung murah dan membutuhkan daya rendah untuk pencairan. Karena tidak membutuhkan suhu tinggi, bantalan untuk mesin tidak diperlukan lagi. Kemungkinan membakar benda di sekitarnya juga rendah. Kekurangan dari bahan PLA hanyalah mudah meleleh di suhu yang sangat tinggi. Contoh filamen PLA yang tersedia di pasaran dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Filamen PLA

2.2.4 Menghitung Kecepatan Putar Penggulung

Kecepatan putar penggulung sangat dipengaruhi dengan kecepatan mutar motor yang digunakan, karena penggulung tersebut digerakkan oleh *motor stepper* yang dapat berputar pada kecepatan 10 rpm. Untuk menghitung kecepatan putar motor penggulung, dapat digunakan persamaan berikut ini.

$$v = \omega r$$

$$\omega = 2\pi f$$

Dimana,

v : kecepatan (m/s)

ω : omega (rad/s)

r : radius (m)

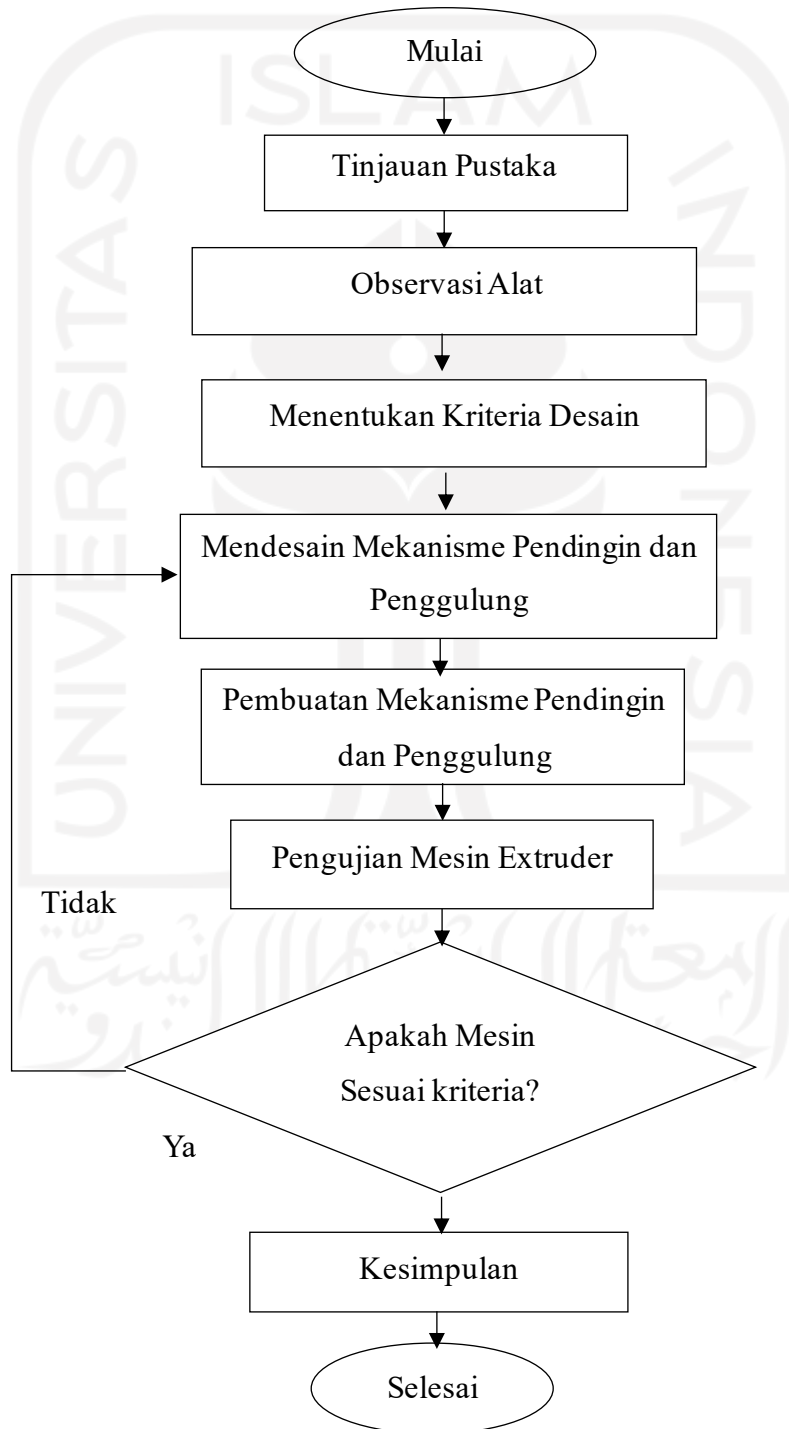
f : frekuensi (Hz)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Identifikasi Masalah

Pada penelitian sebelumnya pada mesin *extruder single screw* masih terdapat kekurangan, yaitu belum adanya pendingin dan penggulung pada mesin, hal itu dapat menyebabkan filament yang keluar pada *nozzle* tidak konsisten maka dari itu peneliti ingin mengembangkan mesin *extruder single screw* agar mendapatkan hasil yang lebih baik.

Mesin ekstruder yang telah dibuat memiliki beberapa kekurangan yaitu belum memiliki mekanisme penggulung dimana filamen yang keluar dari *nozzle* hanya memanfaatkan gaya gravitasi sehingga diameter filamen masih belum merata dan masih membutuhkan proses tambahan dengan cara menggulung secara manual setelah filamen terbentuk. Selain itu, kekurangan dari mesin ini adalah belum memiliki mekanisme pendingin. Proses pendinginan dapat membantu mempercepat proses produksi dan menjaga diameter filamen yang terbentuk lebih merata.

3.3 Kriteria Desain

Kriteria desain dari mekanisme pendingin dan penggulung yang dibuat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan filament yang panjang dengan diameter yang lebih merata
2. Menggunakan kipas dan penggulung yang tersedia di pasaran.
3. Mekanisme yang dibuat mampu mendinginkan dan menggulung filament setelah keluar dari *nozzle* dan menghasilkan diameter filamen yang merata.

3.4 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam perancangan ini meliputi:

1. Gerinda tangan & Gerinda potong
2. Mesin las
3. Mesin bubut.

Bahan-bahan yang digunakan dalam perancangan ini meliputi:

1. Mata bor *Auger bit*

2. Besi *hollow stainless steel*
3. Silinder kuningan pejal
4. Besi *Hollow 2x2*
5. *Bearing*
6. Plat baja
7. *Sprocket* dan rantai
8. *Heater band*.
9. Limbah filamen jenis PLA

3.5 Langkah-langkah Mengoperasikan Mesin *Extruder*

Untuk mengoperasikan mesin *extruder* yang dirancang, dilakukan beberapa langkah sebagai berikut.

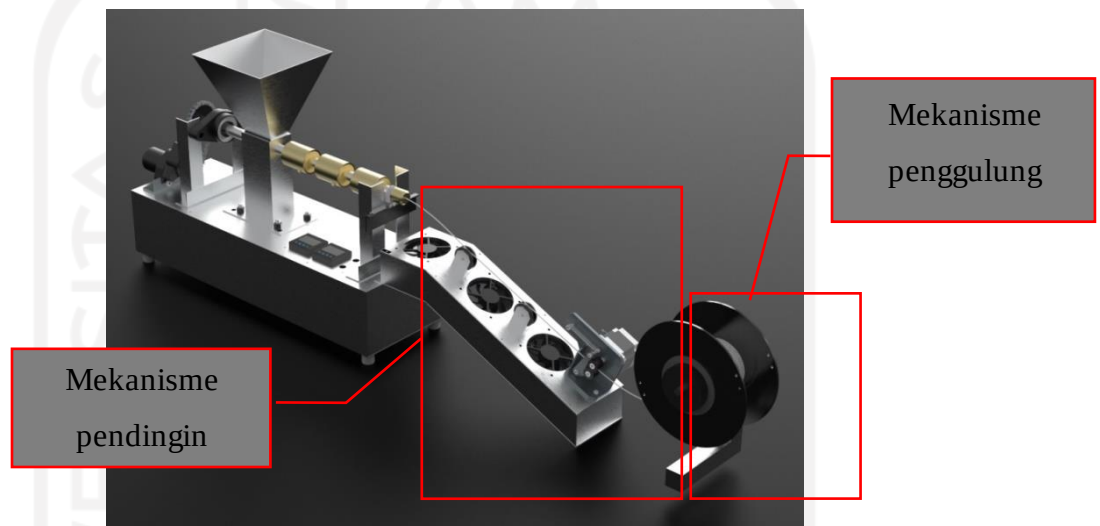
1. Menyiapkan bijih limbah filament PLA dengan cara dipotong menjadi serpihan kecil dengan ukuran < 3 mm.
2. Menghidupkan *PID controller*
3. Mengatur suhu pada *PID controller* pada suhu 161 °C
4. Menunggu suhu barel sesuai dengan panas yang diinginkan
5. Menghidupkan motor untuk menggerakkan screw dengan kecepatan 50 Rpm.
6. Memasukkan bijih limbah PLA ke dalam hopper
7. Menunggu hasil extrusi keluar dari *nozzle*
8. Meletakkan filamen yang keluar dari *nozzle* ke penggulung
9. Memastikan filamen tergulung dengan baik

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Desain Pengembangan Mesin *Extruder*

Desain mesin *extruder* hasil pengembangan dengan menambahkan mekanisme pendingin dan penggulung yang dibuat menggunakan software Autodesk Inventor dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Desain mesin *extruder* hasil pengembangan

Seperti dapat dilihat pada Gambar 4.1 diatas, mesin *extruder* yang dikembangkan memiliki mekanisme pendingin untuk mendinginkan filamen tepat setelah filamen keluar dari *nozzle*. Proses pendinginan menggunakan kipas sebanyak tiga buah dengan dimensi kipas yang dipilih adalah 80x80 mm. Setelah didinginkan menggunakan kipas, filamen digulung menggunakan penggulung dengan diameter 80 mm. Kipas pendingin dan penggulung yang dipilih dapat dengan mudah ditemui di pasaran. Gambar 4.2 berikut adalah kipas dan penggulung yang digunakan dalam perancangan ini.



Gambar 4.2 Kipas dan penggulung

4.2 Penentuan Kecepatan Motor Penggulung

Untuk menghasilkan filamen yang memiliki ukuran lebih panjang dan diameter lebih merata dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, diperlukan sebuah mekanisme penggulung yang memiliki kecepatan konstan. Kecepatan motor penggulung yang dipilih diatur berdasarkan kecepatan keluarnya filamen dari *nozzle*. Berdasarkan pengujian kecepatan filamen yang keluar dari *nozzle* yang dilakukan berulang, kecepatan filamen yang diperoleh adalah 154 cm/menit. Oleh karena itu, untuk menentukan kecepatan motor penggulung dapat ditentukan melalui perhitungan sebagai berikut:

Diketahui:

1. Kecepatan linier filamen keluar dari *nozzle* tanpa penggulung = 154 cm/menit
= 0,025 m/s
2. Diameter penggulung = 80 mm, $r = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m}$

Ditanya:

1. Kecepatan sudut penggulung (ω) dalam satuan rad/s
2. Kecepatan putar penggulung dalam satuan Rpm

Jawab:

$$V = \omega \times r$$

$$0,025 = \omega \times 0,04$$

$$\omega = \frac{0,025}{0,04}$$

$$\omega = 0,625 \text{ rad/s}$$

$$\omega = \frac{\text{kecepatan putar} \times 2\pi}{60}$$

$$60 \times 0,625 = \text{kecepatan putar} \times 2\pi$$

$$\text{Kecepatan putar} = \frac{60 \times 0,625}{2\pi} = 5,9 \text{ Rpm}$$

$$\text{Kecepatan putar} = \frac{37,5}{6,28} = 5,9 \text{ Rpm}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, diperoleh kecepatan putar motor penggulung adalah 5,9 Rpm. Namun demikian, untuk menjaga tegangan filamen lebih stabil dan memiliki diameter yang lebih merata saat dilakukan proses penggulangan serta menyesuaikan ketersediaan motor dipasaran, dipilih kecepatan putar motor penggulung sebesar 10 Rpm.

4.3 Pembuatan Rangka Mesin *Extruder*

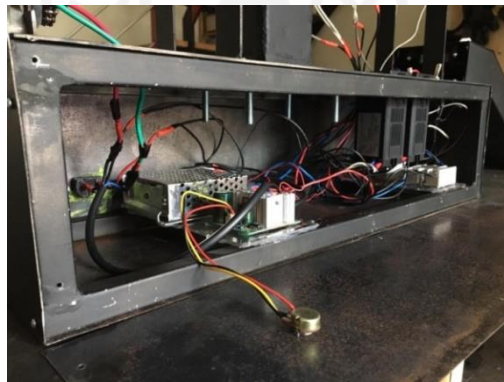
Berdasarkan hasil desain yang telah dibuat, tahap selanjutnya adalah mewujudkan desain tersebut. Proses pengembangan mesin *extruder* dengan menambahkan mekanisme pendingin dan penggulung dimulai dengan membuat rangkanya terlebih dahulu karena pada mesin *extruder* hasil penelitian sebelumnya belum memiliki rangka yang terbuat dari baja namun masih diletakkan diatas meja kayu. Oleh karena itu, pada pengembangan ini dibuat rangka yang ditutup oleh plat baja ukuran 1.5 mm agar mesin *extruder* menjadi lebih kuat sekaligus dapat digunakan untuk meletakkan rangkaian elektrikal untuk mengatur suhu heater band. Rangka yang digunakan dalam perancangan ini adalah baja hollow ukuran 20 x 20 mm. Gambar 4.3 berikut ini adalah proses pembuatan rangka yang ditutup oleh plat baja dan hasil perakitannya.



(a)



(b)



(c)

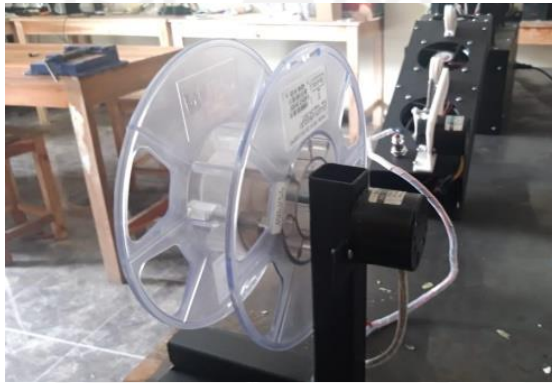
Gambar 4.3 a) Poses pemotongan baja *hollow*, b) proses pengelasan rangka, dan c) hasil perakitan rangka

4.4 Pembuatan Mekanisme Pendingin dan Penggulung

Mekanisme pendingin dibuat dengan menyusun tiga buah kipas ukuran 80 x 80 mm dan kecepatan putarnya adalah 2000 Rpm. Peletakan kipas disusun secara seri tepat setelah filamen keluar dari *nozzle* hingga sebelum penggulung. Pemberian kipas ini bertujuan untuk mempercepat proses pendinginan filamen yang keluar dari *nozzle* sehingga proses penggulungan juga lebih cepat. Sedangkan untuk proses penggulungan, penggulung diletakkan setelah proses pendinginan menggunakan kipas menggunakan penggulung bekas filamen yang telah habis digunakan dimana penggulung tersebut memiliki diameter 80 mm dan kecepatan motornya adalah 10 Rpm. Hasil pembuatan mekanisme pendingin dan penggulung dapat dilihat pada Gambar 4.4.



(a)



(b)

Gambar 4.4 Hasil perakitan mekanisme a) pendingin b) penggulung

4.5 Hasil Pengujian Mesin *Extruder*

Pengujian mesin *extruder* untuk membuat filamen dari limbah 3D printing jenis PLA diperoleh hasil seperti dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut ini.



Gambar 4.5 Hasil penggulangan filamen

Seperti dapat dilihat pada Gambar 4.5, filamen dari mesin extruder single screw telah berhasil digulung oleh mekanisme penggulung. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam membuat filamen agar dapat tergulung dengan baik yaitu saat filamen keluar dari *nozzle* pertama kali harus segera diarahkan atau dipasangkan ke arah penggulung agar proses menggulung dapat berjalan dengan baik. Dari hasil yang diperoleh, filamen yang terbentuk memiliki ukuran yang lebih panjang dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini, filamen yang terbentuk dan tidak terputus adalah 120 cm/menit sedangkan penelitian sebelumnya adalah 80 cm/menit sehingga terjadi peningkatan sebanyak 40 cm.

Selain itu, berdasarkan pengamatan yang dilakukan, diameter filamen yang dihasilkan juga memiliki ukuran yang lebih merata sebesar 1.7 mm. Pengukuran ini dilakukan di tiga titik yang berbeda yaitu di kedua ujung dan di tengah. Hasil ini sudah lebih baik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya karena pada penelitian ini memiliki mekanisme penggulung yang dapat menjaga tegangan filamen setelah keluar dari *nozzle*. Gambar 4.6 berikut ini filamen setelah dilepas dari penggulung.



Gambar 4.6 Pengukuran panjang filamen

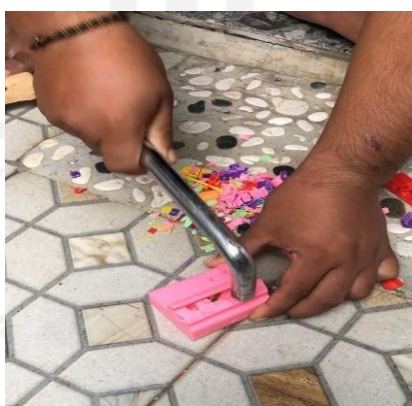
4.6 Kendala yang Ditemukan

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan pada saat mengoperasikan mesin extruder, dibutuhkan waktu sekitar 25 menit agar barel dapat mencapai suhu yang diinginkan yaitu berkisar antara 160-162 °C. Pada saat barel yang dipanaskan melebihi suhu yang ditarget maka akan terjadi permasalahan yaitu tekstur filamen menjadi terlalu cair sehingga mengakibatkan filamen tidak dapat terbentuk dengan sempurna seperti dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Filamen yang keluar dari *nozzle* terlalu cair

Namun demikian, jika suhu yang terbaca kurang dari 160 °C maka filamen tidak keluar dari *nozzle*. Suhu barel yang tidak stabil dan seringkali berubah-ubah sesuai dengan kondisi didalam ruangan pengujian sangat menyulitkan dalam proses pembuatan filamen. Oleh karena itu diperlukan sebuah penutup tambahan agar suhu barel saat dipanaskan pada suhu yang diinginkan dapat stabil. Selain itu kendala yang dihadapi dalam penelitian ini adalah menyiapkan limbah PLA menjadi potongan yang berukuran kecil. Umumnya, limbah PLA yang diperoleh memiliki ukuran yang cukup besar sehingga diperlukan proses awal untuk membuat biji berukuran kecil agar mudah meleleh saat dipanaskan di barel mesin extruder. Pada penelitian ini, proses memperkecil ukuran limbah PLA masih dilakukan secara manual dengan cara memotong dan memukul menggunakan palu menjadi ukuran yang lebih kecil seperti dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Proses pembuatan biji limbah PLA

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan, diperoleh kesimpulan dalam penelitian ini yaitu telah berhasil dikembangkan sebuah mesin extruder single screw dengan menambahkan mekanisme pendingin dan penggulung yang menghasilkan filamen yang tidak sepanjang 120 cm/menit dan memiliki diameter yang lebih merata sebesar 1,7 mm.

5.2 Saran

Terdapat beberapa saran yang diberikan pada perancangan mesin ekstruder filamen 3D *Printing* ini yaitu perlunya *cover* atau penutup pada barel agar suhu tidak berubah-ubah. Kemudian pada penggulung perlunya tambahan agar dapat memudahkan dalam mengatur kecepatan putarnya, sehingga dapat selaras dengan laju dari filamen yang telah diproses. Selain itu juga perlunya alat pencacah, agar dapat mencacah limbah-limbah filament dengan sangat kecil. Sehingga dapat dengan mudah untuk diproses oleh mesin ekstruder.

DAFTAR PUSTAKA

- Autodesk Inventor. (2016). Professional-grade 3D CAD software for product design and engineering.
- Chuankrerkkul, N. (2007). Powder Injection Moulding of Cemented Carbides : Feedstock Preparation and Injection Moulding.
- Custompart.net. (2007). Injection Molding.
- Dodi Iskandar, A. S. (2019). RANCANG BANGUN FILAMENT EXTRUDER MACHINE DENGAN PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK JENIS LOW DENSITY POLYETHYLENE SEBAGAI BAHAN BAKU 3D PRINTER.
- Encyclopædia Britannica. (2020). Extrusion Blow Molding.
- Firmansyah, E. R. (2019). ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP DIAMETER FILAMEN PADA MESIN EKSTRUDER.
- Kuspriyanto, H. S. (2015). Mesin CNC. *Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung.*
- Plastiform Inc. (2018). What's the Difference Between Thermoforming and Injection Molding?
- Sembiring, P. (2010). Pengaruh Campuran 50% Polypropylene, 30% Polyethylene, 20% Polystyrene Terhadap Variasi Temperatur Pada Proses Injection Molding Tipe Teforma RN 350.
- Subarno, E. H. (2018). Pengembangan Media Pembelajaran Macromedia Flash Pada Mata Pelajaran Teknik Pemesinan Gerinda Kompetensi Mengasah End Mill Di Smk N 2 Yogyakarta. *PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA.*
- Tondi, H. (2019). Rancang Bangun Mesin Ekstruder 3D Printer.
- Zulhajji. (2020). Konsep Dasar Penggunaan Las Listrik Pada Besi Cor. *Prosiding Seminar Nasional Fakultas Teknik UNM.*

LAMPIRAN

