

**KARAKTERISTIK FILAMENT HASIL EKSTRUSI BERBAHAN
DASAR LIMBAH PLASTIK *LOW DENSITY POLYTHYLENE*
DENGAN METODE EKSTRUSI UNTUK APLIKASI FILAMENT
*3D PRINTING***



OLEH:
MUHAMMAD ALI CHANDRA
D022182005

Dosen Pembimbing:
Prof. Dr. Ir. Onny Sutresman, M.T.
Fauzan, ST., M.T., Ph.D

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2022**

**Karakteristik Filament Hasil Ekstrusi Berbahan Dasar Limbah Plastik
Low Density Polythylene Dengan Metode Ekstrusi Untuk Aplikasi
Filament 3D *Printing***

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Mesin / Konstruksi Mesin

Disusun dan diajukan oleh

Muhammad Ali Chandra

D022182005

Kepada

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

SEKOLAH PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**KARAKTERISTIK FILAMENT HASIL EKSTRUSI BERBAHAN DASAR LIMBAH
PLASTIK LOW DENSITY POLYTHYLENE DENGAN METODE EKSTRUSI
UNTUK APLIKASI FILAMENT 3D PRINTING**

Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD ALI CHANDRA

D022182005

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka

Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

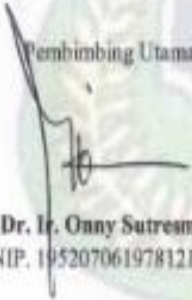
pada tanggal 16 Agustus 2022


dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui
Komisi Penasihat,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping


Prof. Dr. Ir. Onny Sutresman, M.T
NIP. 195207061978121001


Fauzan, ST., M.T., Ph.D
NIP. 197701032008011009

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin




Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT
NIP. 197309262000121002




Dr. Hafidul Arsyad, ST., MT
NIP. 197503222002121001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Ali Chandra

Nomor Induk Mahasiswa : D022182005

Program Studi : Teknik Mesin/ Konstruksi Mesin

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Makassar, Agustus 2022

Yang menyatakan,



(Muhammad Ali Chandra)

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis haturkan kepada kehadiran Allah SWT atas anugerah, taufik, hidayah dan inayah-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga tesis dengan judul **“Karakteristik Filament Hasil Ekstrusi Berbahan Dasar Limbah Plastik *Low Density Polythylene* Dengan Metode Ekstrusi Untuk Aplikasi Filament 3D *Printing*”** dapat diselesaikan pada tepat waktunya. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Master Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Semoga adanya tesis ini dapat memberikan manfaat bagi khasanah pengetahuan ilmu teknik mesin untuk pengembangan keilmuan di Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak selama menyelesaikan tesis ini, tesis ini tidak akan mungkin dapat penulis selesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan rasa hormat dan terimakasih sedalam-dalamnya kepada para pihak:

1. Kepada kedua orang tua penulis yaitu Bapak Muhammad Sodin dan Ibu Siti Sakdiyah.
2. Kepada Rektor Universitas Hasanuddin Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu M.A.
3. Kepada Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Prof. Dr. Ir. A. Muhammad Arsyad Thaha, MT dan beserta Staff.

4. Kepada Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Dr.Eng Jalaluddin, ST., MT.
5. Kepada Ketua Program Studi S2 Departemen Teknik Mesin Dr. Hairul Arsyad, S.T., M.T.
6. Kepada Pembimbing Pertama Prof. Dr. Ir. Onny Sutresman, M.T.
7. Pembimbing Kedua Fauzan, S.T., M.T., Ph.D.
8. Kepada seluruh Dosen dan Staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. Kepada teman-teman kelas seperjuangan S2 Teknik Mesin 2018.
10. Kepada seluruh rekan-rekan Dosen, Laboran dan Staf Politeknik Bosowa.
11. Kepada semua pihak yang kami tidak bisa sebutkan satu persatu.

Akhir kata atas bantuan dan budi baik yang telah penulis dapatkan dari seluruh rekan sekalian penulis haturkan terimakasih sebanyak-banyaknya. Semoga hal baik yang telah diberikan kepada penulis dibalas oleh Tuhan Yang Maha Esa dan diberkahi pahala yang setinggi-tingginya.

Makassar, Agustus 2022

Penulis

(Muhammad Ali Chandra)

ABSTRAK

Plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) merupakan salah satu material yang banyak digunakan oleh industri sebagai kemasan. Lebih buruknya pelaku industri manufaktur tidak menempatkan isu lingkungan sebagai focus utama dalam penyediaan barang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik limbah plastik LDPE yang dibentuk menjadi filamen untuk aplikasi filament 3D printing. Variabel penelitian yang di analisis ialah temperature sampel uji 170°C, 180°C, 190°C, 200°C, 210°C, dan 220°C. Proses analisis filamen ialah dengan memebentuk limbah plastic LDPE menjadi filamen 3D printing menggunakan mesin ekstrusi sampah plastik. Selanjutnya dilakukan uji kekerasan dengan menggunakan alat digital *Shore A Durometer Hardness*. Kemudian, dilakukan pula uji mikrostruktur dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil uji kekerasan yang diperoleh ialah spesimen suhu 210°C memiliki nilai kekerasan tertinggi yakni berkisar pada 83-89.5 HA. Sedangkan spesimen suhu 180°C memiliki nilai kekerasan terendah yakni berkisar antara 59,5 – 71,5 HA. Selain itu, pada pengujian SEM menghasilkan permukaan sampel tidak begitu rata pada suhu 170°C, 180°C dan 190°C, sedangkan permukaan sampel cukup rata pada suhu 200°C, 210°C dan 220°C.

Kata Kunci: sampah plastik, *low density polyethylene*, *shore a durometer*, *scanning electron microscope*

ABSTRACT

Low Density Polyethylene (LDPE) plastic is a material that is widely used by the industry as packaging. Worse, the manufacturing industry players do not place environmental issues as the main focus in the supply of products. This study aims to analyze the characteristics of LDPE plastic waste that is formed into filaments for 3D printing filament applications. The research variables analyzed were the temperature of the test sample at 170 °C, 180 °C, 190 °C, 200 °C, 210 °C, and 220 °C. The filament analysis process is to form LDPE plastic waste into 3D printing filaments using a plastic waste extrusion machine. The hardness test was then carried out using a digital Shore A Durometer Hardness tool. Furthermore, a microstructure test was also carried out using SEM (Scanning Electron Microscope). The results of the hardness test obtained show that the specimen temperature of 210 °C has the highest hardness value, which is in the range of 83–89.5 HA. In the meantime, specimens at 180 °C had the lowest hardness values, ranging from 59.5 to 71.5 HA. In addition, the SEM test resulted in the sample surface not being very flat at temperatures of 170 °C, 180 °C, and 190 °C, while the sample surface was quite flat at temperatures of 200 °C, 210 °C, and 220 °C.

Keywords: plastic waste; low-density polyethylene; shore a durometer; scanning electron microscope

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUNG.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Limbah Plastik.....	6
2.1. Perkembangan Mesin Extruder.....	12
2.2. Daur Ulang Limbah Plastik.....	14
2.3. Proses Ekstrusi.....	15
2.4. Kekerasan Limbah Plastik LDPE (Hardness Durometer).....	15
2.5. Uji Scanning Electron Microscope (SEM).....	17
2.6. Low Density Polyethylene (LDPE).....	18
2.7. Filamen PLA 3D <i>Printing</i>	22
2.8. Penelitian Terkait.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	26

3.1. Tahapan Penelitian.....	26
3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	30
3.3. Jenis Penelitian.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1. Hasil Analisa Data	32
4.2. Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan	43
4.3. Pembahasan Hasil Struktur Mikro Menggunakan SEM.....	49
4.4. Perbandingan PLA dan LDPE Pada Cetakan 3D printing	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1. Kesimpulan.....	55
5.2. Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA.....	57

DAFTAR TABEL

1.	<i>Shore Durometer</i> Table	16
2.	Sifat Fisik dan Mekanik LDPE (Tata Surdia, 1999)	22
3.	Karakteristik Filamen PLA (Lim T, 2021, p32)	22
4.	Data Proses Permesinan Pada Mesin Ekstruder	34
5.	Data Hasil Pengujian Kekerasan Sampel (Sampah) Plastik LDPE ..	37

DAFTAR GAMBAR

1. Plastik jenis PETE.....	7
2. Plastik jenis HDPE	8
3. Jenis plastik V/ PVC.....	9
4. Jenis plastik LDPE	9
5. Jenis plastik PP	10
6. Jenis plastik PS.....	11
7. Jenis plastik polycarbonate	11
8. Mesin ekstruder (Fachry dan Ricky 2020)	14
9. Skema dasar SEM	18
10. Struktur plastik Polietilena (Brazel, 2012:26)	19
11. Filamen PLA Printer 3D.....	23
12. Tahapan penelitian.....	26
13. Skema pengujian Shore A (subtech, 2021)	28
14. Shore A Durometer	29
15. Alat uji SEM-mikro struktur (LSIH Universitas Braiwijaya, 2021) ...	30
16. (a) Sampah Plastik LDPE, (b) Mesin Pencacah Plastik dan (c) Hasil Cacahan (Filamen).....	32
17. Mesin pembuat filament	33
18. (a) Filament LDPE Suhu 170 °C, (b) Filament LDPE Suhu 180 °C, (c) Filament LDPE Suhu 190 °C, (d) Filament LDPE Suhu 200 °C, (e) Filament LDPE Suhu 210 °C, (f) Filament LDPE Suhu 220 °C.	34
19. Pengujian Kekerasan Shore A Durometer Hardness Plastik LDPE (ASTM D2240)	36
20. Hasil analisa EDX, pada suhu 170°C.....	38
21. Hasil analisa EDX, pada suhu 190°C.....	40
22. Hasil analisa EDX, pada suhu 200°C.....	41
23. Hasil analisa EDX, pada suhu 210°C.....	41
24. Hasil analisa EDX, pada suhu 220 °C.....	42

25. Grafik Kekerasan LDPE (Shore A durometer) terhadap Variasi Temperatur	43
26. Diameter LDPE terhadap Variasi Temperatur	44
27. Grafik Distribusi Kekerasan Plastik LDPE	46
28. Grafik Distribusi Kekerasan Plastik LDPE Pada Suhu 170°C, 180 °C dan 190 °C	46
29. Grafik Distribusi Kekerasan Plastik LDPE Pada Suhu 200 °C, 210 °C dan 220 °C	47
30. Foto Struktur Mikro Menggunakan SEM (a). Suhu 170°C), (b). Suhu 180°C, (c). Suhu 190°C, (d). Suhu 200°C, (e). Suhu 210°C, (f). Suhu 220°C.....	50
31. SEM-Mikro Plastik LDPE.....	52

DAFTAR LAMPIRAN

1. Uji SEM	59
2. Durometer	125

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan penghasil sampah plastik terbesar kedua di dunia di lautan, setelah China dengan 187,2 juta ton sampah plastik. Hal ini terkait dengan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang menunjukkan bahwa plastik yang diproduksi oleh 100 toko atau anggota Asosiasi Pengusaha Ritel Indonesia (APRINDO) hanya dalam satu tahun berjumlah 10,95 juta sampah kantong plastik meningkat. Jumlah ini sesuai dengan luas kantong plastik 65,7 hektar. Masalah sampah plastik adalah dapat mencemari lingkungan karena semakin banyak terdapat di lingkungan. Mengingat bahwa plastik terdegradasi di tanah dalam waktu lebih dari 20 tahun, mereka dapat hidup selama 100 tahun, berpotensi mengurangi kesuburan tanah dan membuat plastik kurang biodegradable di badan air. (Purwaningrum, 2016).

Banyak plastik yang diproduksi dan digunakan oleh manusia akhirnya berakhir di alam yang menyebabkan kerusakan pada makhluk hidup dan lingkungan. Jumlah plastik yang didaur ulang dari plastik yang diproduksi jauh lebih sedikit dan kebutuhan daur ulang plastik dan daur ulang sekarang merupakan tugas penting (Purwaningrum, 2016).

Pencemaran plastik dapat berlangsung selama bertahun-tahun, sehingga dampak potensial dari keberadaan sampah plastik adalah pencemaran. (Karuniastuti, 2013). Sampah plastik juga berdampak pada makhluk darat dan laut. Sampah plastik yang dikubur mencemari tanah dan air tanah, dan sampah plastik yang mengalir ke laut mencemari air laut dan mengganggu rantai makanan biota laut. Selain itu, insinerator sampah plastik menghasilkan gas yang mencemari udara dan membahayakan pernapasan manusia.

Namun, hingga saat ini, pengelolaan sampah plastik kurang mendapat perhatian dari beberapa industri pengolahan dalam pembuatan komoditas. Pemain manufaktur tidak tertarik dengan masalah lingkungan. Selain itu, beberapa industri tidak mempertimbangkan untuk mendaur ulang plastik menjadi produk baru dan hanya menggunakannya sebagai bahan baku produksi. Ini telah membuat limbah plastik di luar kendali dari industri itu sendiri, tetapi tingkat produksi limbah plastik di seluruh dunia terus tumbuh menjadi sekitar 381 juta ton pada tahun 2015. (Geyer, Jambeck, dan Law, 2017).

Proses ekstrusi plastik adalah teknik terkenal yang banyak digunakan dalam industri polimerisasi. Untuk menghasilkan produk plastik berkualitas baik, suhu di setiap zona harus diatur dan dikontrol dengan tepat. Suhu sistem ekstrusi plastik memiliki berbagai variasi subjek dengan berbagai gangguan. Sistem ini umumnya nonlinier dan untuk mengendalikan suhu tersebut merupakan proses yang membosankan, karena memiliki beberapa tahap serta sistem yang digabungkan satu sama lain. Suhu barrel ekstrusi plastik memiliki respons yang lambat. Selama transisi, dari kondisi ideal alat berat ke kondisi pengoperasian, variasi suhu secara signifikan berada di zona suhunya, yang pada gilirannya, menyebabkan suhu leleh yang tidak stabil dan kualitas produk tidak konsisten.

Proses ekstrusi plastik adalah proses pembuatan di mana plastik mentah dilebur dan dibentuk menjadi barang yang menghasilkan profil yang terus menerus seperti pipa / tabung, pagar, dek, pagar, bingkai jendela, film plastik, dan isolasi kawat. Proses umum dimulai dengan memasukkan bahan plastik, seperti pelet, butiran, serpih, atau bubuk dari hopper ke dalam tong ekstruder. Bahan tersebut secara bertahap dicairkan oleh energi mekanik yang dihasilkan oleh memutar sekrup, dan oleh pemanas yang diatur sepanjang laras. Polimer cair kemudian dipaksa ke dalam bentuk yang mengeras selama pendinginan.

Salah satu pemanfaatan mesin ekstrusi ialah hasil ekstrusi tersebut menghasilkan filamen *3D printing*. Filamen *3D printing* yang berbahan dasar sampah plastik merupakan salah satu solusi untuk industri manufaktur dalam mengurangi keberadaan sampah plastik saat ini. Keunggulan ekstrusi *3D printing* ialah proses manufaktur lebih ramah lingkungan serta menghemat biaya dan dapat membuat sesuai kustomisasi. Sedangkan parameter proses yang mempengaruhi pada pencetakan mesin, (proses ekstruksi) yakni Suhu *nozzle*, suhu meja kerja, serta jalur dan kecepatan *nozzle* adalah variabel pemrosesan penting yang mempengaruhi kinerja bagian cetakan akhir (Dries Vaes, *et, all.* 2020).

Pengolahan filamen *3D printing* dari sampah plastik juga akan memberikan efek positif untuk industri manufaktur plastik dan tenaga kerjanya. Hal ini dikarenakan jumlah produksi plastik tidak perlu ditekan (*reduced*) karena plastik yang tidak digunakan akan diolah kembali oleh mesin *3D printing* yang menggunakan filamen berbahan dasar sampah plastik.

Untuk mendapatkan level performansi dari proses mesin ekstrusi sesuai yang diharapkan, maka dianggap perlu untuk melakukan analisa limbah plastik kategori *low density polythylene* pada mesin extruder dengan menghasilkan filament *3D printing*, sehingga dapat diketahui parameter pengontrolan yang tepat dari hasil lelehan mesin ekstrusi dan diharapkan dapat membuat kinerja mesin extruder menjadi lebih efisien untuk menghasilkan filamen *3D printing*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah pengaruh variasi temperatur terhadap hasil lelehan bahan plastik LDPE mesin extruder.
2. Bagaimanakah pengaruh variasi temperatur terhadap karakteristik

mekanik berupa distribusi kekerasan terhadap hasil lelehan bahan plastik LDPE mesin ekstruder.

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah diatas maka adapun tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Untuk mendapatkan pengaruh variasi suhu yang optimal dari hasil lelehan mesin ekstruder.
2. Untuk mengetahui karakteristik mekanik hasil pengolahan mesin ekstruder sebagai bahan filament 3D *printing* akibat dari pengaruh variasi suhu.
3. Untuk mendapatkan hasil pengujian mikro struktur bahan plastik LPDE hasil lelehan mesin ekstruder.

1.4. Batasan Masalah

Dari rumusan masalah yang dipaparkan diatas maka penulis mencoba membuat batasan masalah dalam penelitian ini.

1. Penelitian ini menggunakan mesin ekstruder dengan ukuran nozel 1.75 mm, kecepatan motor 72 rpm dan kecepatan pengerolannya 54 rpm.
2. Jenis limbah plastik yang digunakan ialah *Low Density Polythylene* (LDPE) yang mana limbah plastik kategori kantong plastik.
3. Jenis pengujian mekanik yang akan di analisa ialah uji kekerasan (*durometer hardness*) dan uji SEM-mikro.

1.5. Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang akan dilakukan dapat dijadikan sebagai referensi dalam perkembangan pembuatan mesin ekstruder, dan beberapa manfaat lain yakni :

1. Penelitian ini bisa sebagai sebab mengurangi limbah sampah plastik khususnya jenis kantong plastik.
2. Penelitian ini bisa menjadi rujukan dalam aplikasi pembuatan peralatan rumah tangga dari limbah kantong plastik.
3. Penelitian ini menjadi rujukan bagi para peneliti lain sebagai bahan pembandingan penelitian dengan menggunakan mesin ekstruder.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah Plastik

Sampah plastik adalah salah satu masalah utama yang dihadapi saat ini yang dapat berdampak buruk bagi manusia dan lingkungan karena tidak dapat terurai secara hayati. Berdasarkan asumsi Kementerian Lingkungan Hidup Indonesia, populasi Indonesia menghasilkan 0,8 kg sampah per orang setiap hari, atau total 189 ribu ton sampah / hari. Dari jumlah tersebut, 15% di antaranya berupa limbah plastik atau sekitar 28,4 ribu ton sampah plastik / hari. Sampah plastik akan berdampak negatif bagi lingkungan karena tidak dapat terurai dengan cepat dan dapat menyebabkan pencemaran tanah. Peningkatan sampah plastik ini akan menjadi masalah serius jika solusinya tidak dicari. Beberapa penanganan limbah yang populer biasanya disebut 3R (*Reuse, Reduce, Re-cycle*), tetapi masing-masing pengelolaan limbah di atas disebutkan memiliki kelemahan. Penanganan sampah plastik tidak bisa dilakukan dengan metode landfill dan open dumping karena akan sulit terurai (N. Kholidah, 2018).

Metode paling umum untuk daur ulang limbah plastik adalah daur ulang mekanis. Proses ini biasanya termasuk pengumpulan, pemilahan, pencucian dan penggilingan bahan. Langkah-langkah dapat terjadi dalam urutan yang berbeda, beberapa kali atau tidak sama sekali, tergantung pada asal dan komposisi limbah (K. Ragaert, 2018).

2.1.1. Jenis – Jenis Bahan Plastik

Plastik memiliki beberapa jenis dalam penggunaannya. Kategori pakai plastik bermacam-macam ada yang hanya sekali pakai, dan ada yang bisa dipakai berkali-kali, tergantung jenis plastik tersebut.

Adapun jenis plastik yang sering di konsumsi oleh masyarakat saat ini menurut medium.com ialah :

1. *Polyethylene Terephthalate (PET/PETE)*

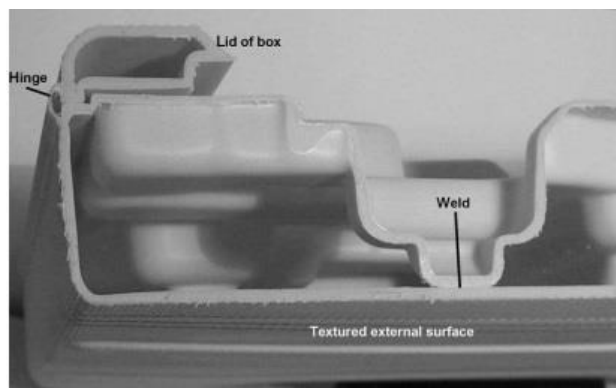
Plastik dengan label ini tidak berwarna atau bening dan sering digunakan untuk botol air mineral dan jus. Plastik ini hanya dapat digunakan sekali dan tidak boleh diisi dengan air panas. Jika permukaan plastik tidak halus atau ada goresan, lebih baik jangan digunakan untuk minuman. Jenis plastik ini biasa digunakan untuk botol air mineral, jus, minuman ringan, atau kecap. Selain itu, tingkat bahaya dan kesulitan terurai tergolong sedang.



Gambar 1. Plastik jenis PETE
Sumber : Nigel Mills, 2005

2. *High Density Polyethylene (HDPE)*

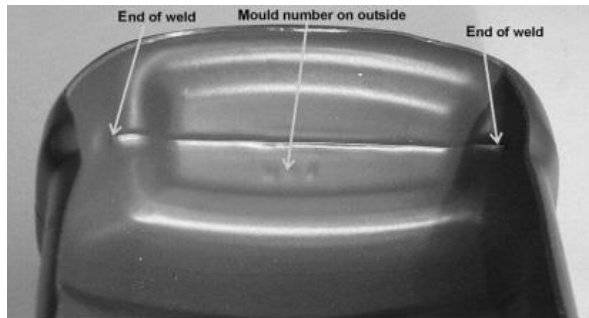
HDPE plastik berwarna putih susu. Sama seperti PET atau PETE, plastik dengan kode ini juga dianjurkan untuk tidak digunakan berulang-ulang. Pemanfaatannya digunakan untuk botol susu, kosmetik, shampo, dan tas kresek. Adapun tingkat bahaya dan kesulitan terurai dikategorikan sedang.



Gambar 2. Plastik jenis HDPE
Sumber : Nigel Mills, 2005

3. *Polyvinyl Chloride (PVC)*

Komponen PVC dalam bungkus plastik, DEHA, dapat larut saat dipanaskan dan bercampur dengan makanan berminyak (dengan demikian, jangan pernah memanaskan makanan yang dibungkus dengan bungkus plastik). PVC berpotensi berbahaya bagi ginjal, hati, dan berat badan. Sering digunakan untuk bungkus plastik, kotak makan siang plastik, mainan dan tirai shower. Risiko kegagalan dan kesulitan dikategorikan tinggi.



Gambar 3. Jenis plastik V/ PVC
(Sumber : Nigel Mills, 2005)

4. Low Density Polyethylene (LDPE)

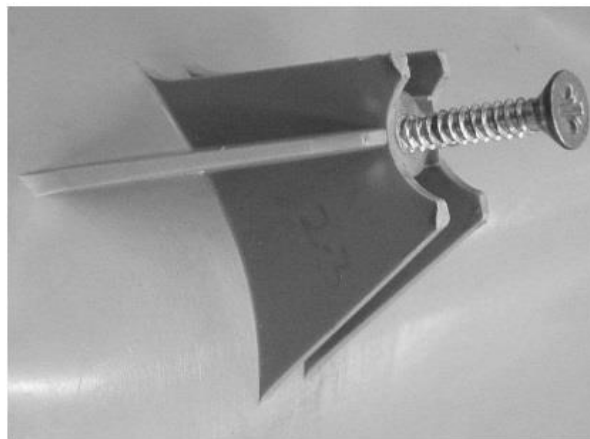
Jenis plastik ini biasa digunakan untuk membuat barang-barang yang membutuhkan kelenturan tetapi tahan lama. Jenis ini elastis namun aman untuk menyimpan makanan (*food grade*). Biasa digunakan untuk kemasan makanan, kemasan roti dan tas *dry cleaning*. Tingkat bahayanya rendah, tetapi kesulitan penambangan alami tergolong sedang.



Gambar 4. Jenis plastik LDPE
Sumber : Nigel Mills, 2005

5. *Polypropylene* (PP)

Jenis plastik ini sangat ideal untuk menyimpan makanan, terutama botol minuman dan botol bayi (transparan/bening). Disarankan untuk memperhatikan simbol ini saat membeli produk plastik *food grade*. Biasa digunakan untuk botol bayi, botol obat, sedotan, tempat margarin, dll. Risiko rendah dan sulit terurai.



Gambar 5. Jenis plastik PP

6. *Polystyrene* (PS)

Jenis plastik ini biasanya bahan dasar *styrofoam*, wadah minuman sekali pakai, dll. Bahan *polystyrene* dapat melarutkan zat *styrenic* ke dalam makanan. Wadah makanan berbahan *styrofoam* menyebabkan pencemaran selama pembuatan, menjadi limbah karena hanya digunakan sekali, tidak terurai di dalam tanah, dan mengeluarkan gas beracun saat dibakar. Biasa digunakan untuk gelas minuman, paket makanan *takeaway* dan pendingin. Risiko kerusakan dan kesulitan terurai diklasifikasikan sebagai tinggi.



Gambar 6. Jenis plastik PS
Sumber : Nigel Mills, 2005

7. Polycarbonate

Jenis plastik ini biasanya terdapat pada wadah makanan dan minuman seperti botol minuman olahraga. Polikarbonat dapat melepaskan komponen utama, *bisphenol A*, ke dalam makanan dan minuman, yang dapat merusak sistem endokrin. Karena itu, hindari plastik polikarbonat sebisa mungkin. Biasanya digunakan untuk botol minuman tumbler, tas oven, atau kemasan. Risiko dan kesulitan termasuk tinggi.



Gambar 7. Jenis plastik polycarbonate
Sumber : Nigel Mills, 2005

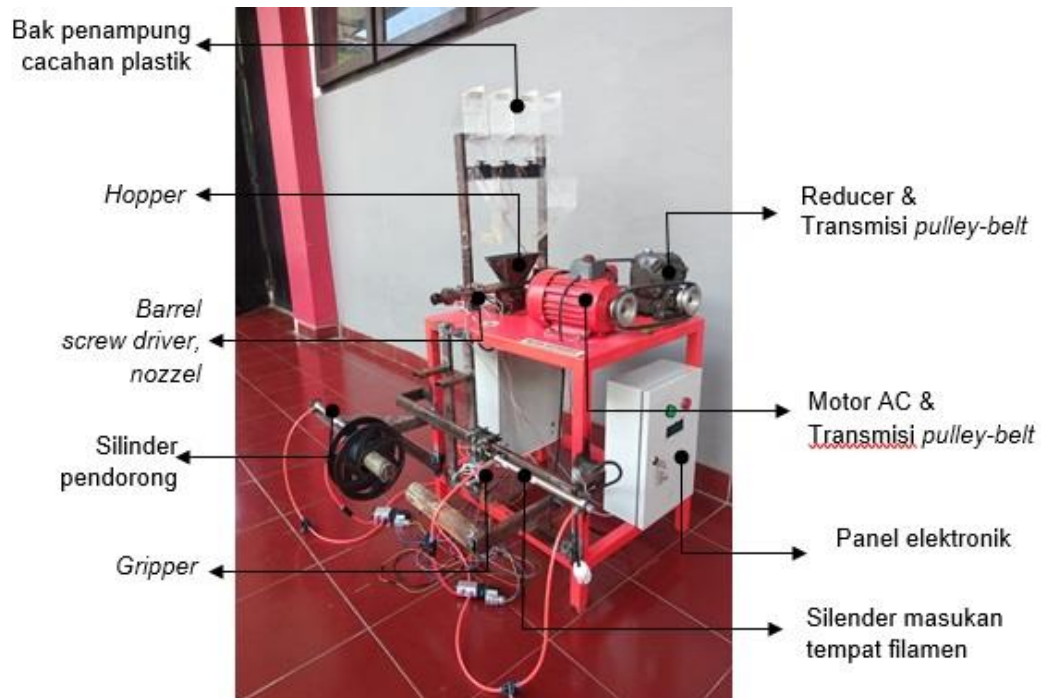
2.2. Perkembangan Mesin Extruder

Charles Hancock dan rekan kerjanya menerapkan prinsip dasar ekstrusi pada tahun 1820. Pada tahun 1870-an, mesin sekrup pertama dikembangkan dan pada tahun 1890 diproduksi secara komersial di AS. Di Eropa, Francis Shaw dan Paul Troester mengembangkan sistem ekstrusi secara komersial pada tahun 1900. Extruder modern pertama dikembangkan pada awal abad ke-19. Ekstrusi termoplastik pertama dikembangkan pada tahun 1935 oleh Paul Troester dan istrinya Ashley Gerhoff di Hamburg, Jerman. Roberto Colombo dari Lampeupdatedusa, Italia mengembangkan extruder sekrup kembar pertama di Italia.

Teknologi ekstrusi diperkenalkan pada akhir 1870, dan ini telah merevolusi sistem ekstruder dengan pengaturan suhu yang akurat dalam ekstrusi. Teknologi ini secara efektif mengurangi deformasi plastik dan meningkatkan produksi berbagai polimer termoplastik. Sejak 1960 dan seterusnya, perkembangan konstan yang dibuat dalam pembuatan mesin ekstruder telah berhasil untuk berbagai jenis polimer. Desain dasar mesin ekstruder tidak berubah setelahnya. Setiap mesin ekstruder mengikuti prosedur mekanis tertentu selama produksi mengikuti prinsip yang sama. Permintaan produk plastik meningkat seiring dengan perkembangan extruder pada akhirnya, generasi berikutnya dari extruder dimulai ketika difokuskan pada pembuatan cetakan. Perkembangan luar biasa itu membuat para peneliti dapat mencari banyak penyesuaian untuk kebutuhan lebih lanjut. Kompresi dan tekanan dipelajari bersama.

Saat ini, ekstruder telah berkembang dalam banyak hal, perhatian para insinyur modern mengubah bentuk klasiknya menjadi bentuk modern. Waktu terbang sekrup ekstruder ditingkatkan dengan prinsip *co-rotating* dan *counter rotating*. Setiap desain dicatat untuk setiap penggunaan. Tekanan yang dihasilkan dianalisis untuk mengembangkan lebih banyak kemajuan dalam ekstruder.

Proses ekstrusi plastik adalah teknik yang sudah umum banyak dikenali di industri polimer. Dari teknik ekstrusi tersebut perkembangan mesin ekstruder untuk plastik semakin dikembangkan oleh industri. Dengan mengandalkan pemanas dari *barrel* dan *lead screw*, plastik bisa meleleh dan diantarkan keluar ke ujung *barrel*. Untuk memproduksi produk plastik yang berkualitas bagus, maka temperatur panas pada barrel sangat berpengaruh. Sehingga kontrol temperatur pada mesin sangat diperlukan karena setiap jenis plastik memiliki karakter panas yang berbeda-beda (Variya et al. 2018).



Gambar 8. Mesin ekstruder (Fachry dan Ricky 2020)

Mesin ekstruder plastik merupakan mesin yang berfungsi untuk mengekstrusi plastik menjadi filamen yang berbentuk solid. Setelah mengekstrusi plastik, ada banyak manfaat yang bisa digunakan pada plastik tersebut.

2.3. Daur Ulang Limbah Plastik

Pengolahan sampah plastik untuk didaur ulang biasanya dilakukan oleh industri. Secara umum, ada empat persyaratan untuk pengolahan limbah plastik industri. Secara khusus, limbah harus dalam bentuk tertentu (bijih, bubuk, parutan) dan limbah harus homogen, tidak terkontaminasi dan tidak teroksidasi. Setelah itu, dilakukan tahap pelelehan dengan proses pemanasan sampah plastik pada suhu diatas 200°C yang dihasilkan oleh

pemanas (*heater*). Selanjutnya lelehan diteruskan menuju proses filtrasi (*nozzle*). Pada tahap penyaringan ini, lelehan plastik akan melewati saringan yang terbuat dari pelat besi yang dilubangi dengan diameter kurang lebih 4-6 mm sehingga dihasilkan lelehan plastik berbentuk filamen panjang.

2.4. Proses Ekstrusi

Mesin ekstruder plastik adalah mesin yang digunakan dalam proses daur ulang plastik dan menggunakan kembali plastik dengan bantuan proses ekstrusi. Proses ekstrusi adalah proses daur ulang dan penggunaan kembali plastik yang paling sederhana, Ektrusi adalah proses untuk membuat benda dengan penampang tetap, keuntungan dari proses ekstrusi adalah bisa membuat benda dengan penampang, bisa memproses bahan yang rapuh karena pada proses ekstrusi hanya bekerja tegangan tekan, sedangkan tegangan tarik tidak ada sama sekali. Alumunium, tembaga, kuningan, baja dan plastik merupakan contoh bahan yang paling banyak di proses dengan ekstrusi. Seperti: barang dari yang dibuat dengan ekstrusi plastik proses pemanasan, dan pelunakan bahan baku terjadi di dalam barrel akibat adanya pemanas yang disebut *band heater*.

2.5. Kekerasan Limbah Plastik LDPE (Hardness Durometer)

Durometer adalah standar internasional untuk mengukur kekerasan karet dan plastik. Skala durometer didefinisikan oleh Albert F. Shore, yang mengembangkan alat pengukur untuk mengukur kekerasan pantai pada

tahun 1920. Istilah durometer umumnya digunakan untuk pengukuran dan instrumen itu sendiri. Polimer, elastomer, dan karet. Biasanya digunakan sebagai ukuran kekerasan dari. Penguji kekerasan *Shore* bukanlah penguji kekerasan pertama, tetapi merupakan durometer pertama (ISV duro-and-meter, dicoba dan diuji sejak abad ke-19).

1. Klasifikasi Skala *Shore Durometer*

Ada beberapa timbangan durometer yang digunakan untuk bahan dengan sifat yang berbeda. Dua skala paling umum yang menggunakan sistem pengukuran yang sedikit berbeda adalah skala ASTM D2240 Tipe A dan Tipe D. Skala A mewakili plastik lunak dan skala D mewakili plastik keras. Namun, tes ASTM D2240-00 membutuhkan standar dengan total 12 skala, tergantung pada tujuan penggunaan. Tipe A, B, C, D, DO, E, M, O, OO, OOO, OOO-S, dan R. Setiap skor berada pada skala 0-100, dengan nilai yang lebih tinggi menunjukkan materi yang lebih sulit.

Tabel 1. Shore Durometer Table



Sumber: www.dnotebook.com/2009/11/durometer-table-graphic/ (3 Agustus 2021)

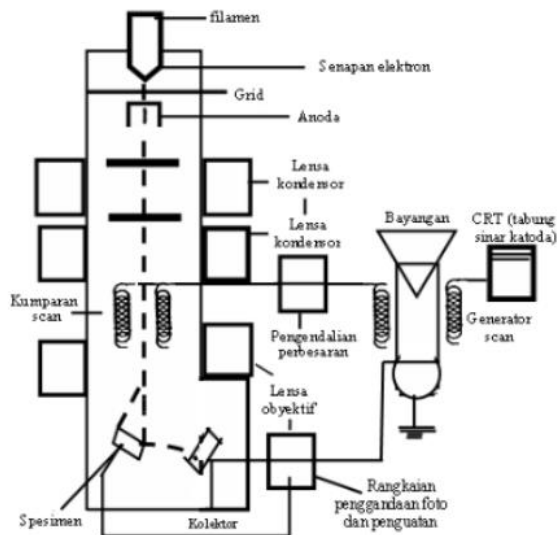
2.6. Uji Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah mikroskop elektron yang dirancang untuk pengamatan langsung permukaan padat. SEM memiliki perbesaran 10 hingga 3.000.000 kali, kedalaman bidang 4 hingga 0,4 mm, dan resolusi 1 hingga 10 nm. Kombinasi kemampuan untuk memperoleh diketahui. SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri (Prasetyo, 2011). Ditambahkan secara anonim (2012) SEM memperoleh gambar dengan memfokuskan berkas elektron (*electron beam*) ke permukaan suatu objek dan menangkap elektron yang muncul dari permukaan objek.

Adapun prinsip Kerja SEM, adalah sebagai berikut:

1. Electron Gun menghasilkan berkas elektron dari filamen. Biasanya electron gun yang digunakan adalah tungsten hairpin gun dengan filamen berupa kumparan tungsten yang bertindak sebagai katoda. Tegangan yang diterapkan pada belitan menyebabkan pemanasan. Anoda kemudian menciptakan gaya yang menarik elektron dan memungkinkan mereka untuk bergerak menuju anoda.
2. Lensa magnetik fokus dan menargetkan elektron menuju pada suatu titik di sampel permukaan.
3. Fokus Sinar elektron yang berfungsi memindai (*scan*) keseluruhan sampel yang diarahkan oleh scan coil.
4. Ketika electron telah mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron, baik *Secondary Electron* (SE) atau *Back Scattered Electron*

(BSE) dari permukaan sampel dan akan terdeteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor CRT.



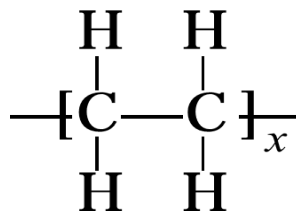
Gambar 9. Skema dasar SEM

2.7. Low Density Polyethylene (LDPE)

Etilen adalah monomer yang paling mudah dipolimerisasi. Senyawa ini membentuk polietilen melalui polimerisasi adisi yang diprakarsai radikal pada tekanan tinggi (1000-3000 atmosfer) dan suhu tinggi (300-500 °C). (Nachtrieb, 2003: 320).

Polietilen yang terbentuk tidak linier sempurna, seperti yang ditunjukkan oleh rumus sederhananya. Dalam sintesis ini, radikal bebas sering menghilangkan hidrogen dari tengah rantai, sehingga polietilen sangat bercabang dengan rantai samping hidrokarbon dengan panjang yang berbeda. Jenis polietilen ini disebut polietilen densitas rendah (LDPE). Ini kurang padat dibandingkan polietilen linier penuh (<0,94

gcm³) karena sulitnya mengemas rantai samping yang tidak beraturan. Ketidakteraturan ini juga membuatnya relatif lunak, oleh karena itu terutama digunakan dalam aplikasi seperti pengemasan, pembungkus, kantong sampah, dan botol semprot, di mana kelembutan bukanlah kelemahan yang diinginkan. (Nachtrieb, 2003: 320).



Gambar 10. Struktur plastik Polietilena (Brazel, 2012:26)

Mengukur nilai densitas suatu plastik sangat penting, karena densitas dapat menunjukkan struktur umum dari plastik. Aplikasi ini dapat dilihat pada kemampuan plastik untuk melindungi produk dari berbagai agen seperti air, O₂ dan CO₂. Burley dkk. (1988) mengemukakan bahwa plastik berdensitas rendah menunjukkan bahwa plastik memiliki struktur terbuka. Ini berarti bahwa plastik itu ringan atau permeabel terhadap cairan seperti air, oksigen, atau CO₂. Oleh karena itu, tidak seperti kertas, nilai kerapatan plastik sangat penting dalam menentukan sifat-sifat plastik yang relevan dengan penggunaannya. Gram terkadang digunakan secara komersial karena satuan ini cukup untuk menyatakan berat molekul dan luas plastik.

Secara kimia, polietilen sangat lembam. Polimer ini tidak larut

dalam pelarut apa pun pada suhu kamar, tetapi membengkak oleh hidrokarbon dan tetraklorida (karbon tetraklorida). Polietilen tahan terhadap asam dan basa, tetapi dapat diserang oleh asam nitrat pekat. *Polyethylene* tidak tahan cahaya dan tahan oksigen. Penambahan sejumlah kecil karbon hitam dapat mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh sinar ultraviolet. Setelah pemanasan yang intens, polietilen membentuk ikatan silang diikuti oleh pemotongan ikatan acak pada suhu tinggi, tetapi tidak ada depolimerisasi (Cowd, 1982: 52).

Sifat fisik polietilen densitas tinggi dan polietilen densitas tinggi sangat berbeda. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, percabangan dapat menurunkan kristalinitas, densitas, titik leleh, dan titik leleh kristal. Low density polyethylene (LDPE) elastis, tahan sobek dan tahan terhadap kelembaban dan bahan kimia. Oleh karena itu, banyak digunakan untuk melapisi film, paket, kotak, isolator listrik, kabel dan kabel. *High-density polyethylene* (HDPE), yang memiliki kekuatan dan kekakuan tarik tinggi, digunakan dalam pembuatan berbagai wadah dan barang-barang seperti pipa dan tabung. (Cowd, 1982: 53).

Sifat-sifat PE secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut (Julianti dan Nurminah, 2006):

1. Hubungan dengan kepadatan

Polimerisasi PE yang berbeda menghasilkan struktur molekul yang berbeda. Sifat molekuler LDPE sulit untuk mengkristal dan menunjukkan banyak cabang. HDPE memiliki sedikit cabang dan

lurus, sehingga memiliki kerapatan tinggi, kristalinitas baik, dan kristalinitas tinggi. Mereka dengan kristalinitas yang baik memiliki gaya intramolekul yang kuat, sehingga mereka memiliki kekuatan mekanik yang tinggi dan memiliki titik lunak.

2. Hubungan dengan berat molekul

Bahan dengan sifat kristal, sifat mekanik, dan kemampuan kerja yang sama berbeda. Keadaan ini dipengaruhi oleh berat molekul. Semakin kecil berat molekulnya, semakin baik daya lelehnya, tetapi semakin rendah ketahanan dan kekuatan pelarutnya.

3. Karakteristik listrik

Karena PE adalah senyawa non-polar dengan sifat listrik yang baik, PE digunakan sebagai bahan isolasi untuk radar, televisi, dan berbagai perangkat komunikasi.

4. Sifat kimia

PE stabil untuk beberapa kimia, kecuali untuk kalida dan oksida kuat. PE larut dalam hidrokarbon terklorinasi di atas 70 ° C, tetapi tidak ada pelarut yang dapat sepenuhnya melarutkan PE pada suhu kamar.

5. Permeabilitas gas

PE hampir kedap air, tetapi cukup permeabel terhadap CO₂, pelarut organik dan wewangian. HDPE kurang transparan dibandingkan LDPE.

6. Kemampuan kerja

PE mudah diproses dan dapat dicetak dengan kompresi, cetakan injeksi, cetakan tiup atau pembentukan vakum, tetapi memiliki penyusutan yang sangat tinggi.

Tabel 2. Sifat Fisik dan Mekanik LDPE (Tata Surdia, 1999)

LDPE	Nilai
Kekuatan Tarik (MPA)	6,86 - 13,72
Perpanjangan (%)	90-650
Kekuatan Tekan (MPA)	9.0 - 11
Kekuatan Lentur (MPA)	-
Densitas (g/cm ³)	0,91 - 0,92
Kekerasan Rockwell	-
Titik Leleh (oC)	110-115

2.8. Filamen PLA 3D *Printing*

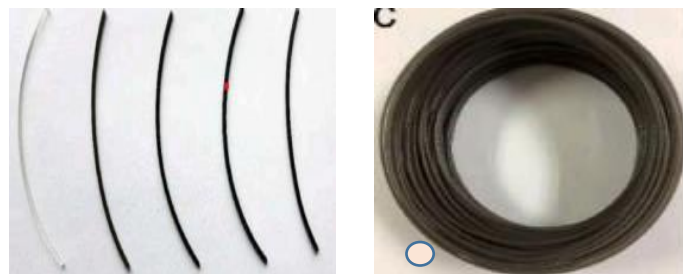
Polylactic Acid, lebih dikenal sebagai PLA, adalah polimer termoplastik biodegradable yang digunakan sebagai filamen dalam pembuatan aditif, atau dalam istilah yang lebih umum, dalam pencetakan 3D. Asal-usulnya, yang memberinya label "ramah bumi", ditemukan dalam kentang jagung, dan bit gula, serta sejumlah produk tanaman lainnya. Ini dapat dikomposkan di fasilitas kompos komersial tetapi bukan tumpukan kompos rumah. Ini biasanya ditemukan dalam kemasan dan wadah makanan. Sebagai termoplastik dapat menjadi lunak dan dapat dibentuk ketika dipanaskan dan kemudian kembali menjadi padat ketika didinginkan.

Tabel 3. Karakteristik Filamen PLA (Lim T, 2021, p32)

Data Filamen PLA	Nilai (satuan)
Diameter	1.75 mm
Kekuatan Tarik (Tensile Strength)	55 – 56 MPa
Densitas (Density)	1.24 g/cm ³

Temperatur Ekstruder	190 -220 °C
Meja Temperatur (Bed Temperature)	45 -60 °C

PLA unggul dalam melewati tiga tes yang diperlukan untuk membuat filamen yang layak untuk printer 3D; ekstrusi pertama menjadi filamen plastik, ekstrusi kedua dan pengikatan jejak selama proses pencetakan, dan akhirnya membuat objek cetak 3D yang sukses. Gambar 2.11 Filament Printer 3D.



Gambar 11. Filamen PLA Printer 3D
Sumber: Tao, 2021, p3

2.9. Penelitian Terkait

Beberapa penelitian terkait yang membahas mengenai pemanfaatan limbah plastik kategori *Low Density Polythylene* pada mesin ekstruder diantaranya sebagai berikut:

1. Penelitian yang dilakukan oleh Wankhade, M.H., Bahaley, S.G pada 2018 dengan judul "*Design and Development of Plastic Filament Extruder for 3D Printing*", hasil penelitian memberikan dasar untuk pengembangan perancangan dan pembuatan pembuatan filamen

mesin pencetak 3D deposisi portabel dengan komponen yang murah dan mudah tersedia menghasilkan filamen ABS berdiameter 1,75 mm

2. Mohd Izham bin Ibrahim, 2015. Penelitian ini fokus pada pengaruh laju umpan pada ekstrusi filamen dengan proses eksperimental yang dilakukan. Untuk langkah pertama, pengujian jig dibangun untuk memudahkan proses ekstrusi dilakukan. Pengujian jig dirancang menggunakan ekstruder FDM yang telah membuat komponen utama dalam penelitian ini. Dari hasil ekstrusi filamen yang dilakukan, laju umpan berperan penting untuk kelancaran dalam proses ekstrusi. Hasil yang diperoleh, laju umpan yang diterapkan untuk mengarahkan filamen ke kepala ekstruder harus antara 5 mm / s sampai 15 mm / s saja.
3. Md. Muzammal Hoque, Dr. Md. Hasnat Kabir, Md. Mehedi Hashan Jony, Penelitian dengan judul "*Design And Construction Of A Bowden Extruder For A Fdm 3d Printer Uses 1.75mm Filament*", Dalam hal ini, digunakan printer 3D RepRap (Replicating Rapid-prototyper) dari Fused Deposition Modeling (FDM) teknologi, di mana model 3D dibangun dengan memanaskan dan mengekstrusi bahan termoplastik melalui nosel sempit. Extruder bowden yang mudah dirawat dan digunakan teknologi FDM dirancang dan diimplementasikan pada printer 3D. Hasilnya disajikan di sini. Dua model bahan yang berbeda (ABS & PLA) dicetak pada suhu yang berbeda (230o C & 185 C), ketika suhu unggun tetap. Diamati bahwa, printer dengan extruder ini mencetak model hampir secara akurat.

4. Lect. Bhavesh Variya, Mistry Bhavik, dkk. Penelitian dengan judul "*Plastic Extruder Machine*" Penelitian ini difokuskan pada pengaturan suhu sistem ekstrusi plastik memiliki berbagai variasi subjek dengan berbagai gangguan, dimana suhu barel ekstrusi plastik memiliki respons yang lambat. Selama transisi, dari kondisi ideal alat berat ke kondisi pengoperasian, variasi suhu ada secara signifikan di zona suhu, yang pada gilirannya, menyebabkan suhu leleh yang tidak stabil dan kualitas produk tidak konsisten.