

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

1.1. Tinjauan Pustaka

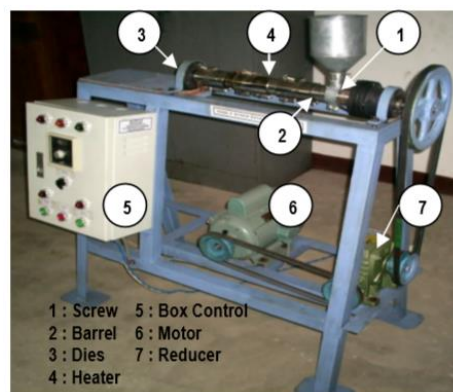
Sibarani dkk (2018) dalam penelitiannya tentang perancangan unit *extruder* pada mesin *extrusion lamination flexible packaging* memperoleh hasil dari perhitungannya sebagai berikut : kapasitas *screw* 200 kg/jam, daya motor listrik sebesar 2,0 HP; 1,5 kW dan putaran sebesar 130 Rpm, laju sembur material sebesar 0,22 m/detik. Alat ini menggunakan satu buah pemanas, sehingga daya yang dibutuhkan adalah 800 watt untuk menaikkan suhu sampai 250°C. Bahan yang digunakan adalah *polypropylene*. *Screw* yang digunakan memiliki diameter 4 in. sehingga, dimensi alat yang dirancang cukup besar.

Harimalairajan dkk (2016) dalam penelitiannya untuk pengembangan dari *extruder filament plastik* untuk *3D printing* memperoleh hasil dalam perhitungannya sebagai berikut : kapasitas mesin sebesar 998,4 kg/ jam, daya motor 1,2 Kw, putaran sebesar 20 Rpm. Pemanas yang digunakan adalah 3 buah *band heater* dengan daya heater pada barrel 1,2 sebesar 1200 watt sedangkan daya heater pada *die* atau cetakan sebesar 1500 watt. Material plastik yang digunakan adalah plastic bekas yang akan dikeluarkan melalui cetakan dengan diameter 3mm. Material yang digunakan untuk membuat *screw* dan *barrel* menggunakan baja. Untuk mereduksi putaran digunakan *pulley* dengan perbandingan 1:3 sebanyak 2 buah dan dihubungkan dengan *belt*. Gambar 2.1 merupakan perancangan yang dilakukan Harimalairajan.



Gambar 2.1. Mesin Extruder rancangan harimalairajan (Harimalairajan dkk, 2016)

Sumardi dan Mawardi (2013) melakukan penelitian dengan tentang perancangan dan fabrikasi mesin ekstrusi *single screw* seperti pada Gambar 2.2, memperoleh hasil perancangan berupa : daya motor listrik sebesar 1,4 HP, pemanas menggunakan 3 *heater* dengan masing masing mempunyai daya 475 Watt yang diatur pada suhu 180°C dan kapasitas mesin sebesar $11461,26 \text{ m}^3/\text{menit}$. Putaran screw sebesar 60 Rpm, yang dihubungkan menggunakan *v belt*. Plastik yang digunakan sebagai bahan produk adalah *polypropylene* yang dilairkan melalui cetakan berdiameter 5mm.



Gambar 2.2. Mesin Extruder rancangan Sumardi dan Mawardi (Sumardi dan Mawardi, 2013)

Wankhade dan Satish (2018) melakukan penelitian untuk mengembangkan *extruder* filament plastik untuk 3D *printing* memperoleh hasil perhitungan dengan kapasitas mesin $248 \text{ mm}^3/\text{detik}$, putaran motor listrik sebesar 30 Rpm, daya motor 600 watt. *Heater* yang digunakan adalah 2 buah *band heater* yang diatur pada suhu 200°C untuk melelehkan

plastik dengan jenis ABS. Plastik yang sudah meleleh akan dikeluarkan melalui nozzle dengan diameter 2mm. Seperti pada Gambar 2.3, pemilihan material yang digunakan untuk *screw* dan *barrel* menggunakan baja.



Gambar 2.3. Mesin Extruder rancangan Wankhade dan Satish (Wankhade dan Satish, 2018)

Dubashi dkk (2015) pada hasil perancangannya dengan mesin berkapasitas 0,5 cm/detik, daya motor dengan torsi 26.5 kg.cm dengan putaran *screw* sebesar 10 Rpm, daya pemanas sebesar 250 watt yang diatur pada suhu 280°C dan cetakan yang digunakan memiliki diameter sebesar 2,26mm. Plastik yang digunakan sebagai bahan filament adalah PET. Perancangan Dubashi terdapat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Mesin Extruder rancangan Dubashi (Dubashi dkk, 2015)

Perancangan mesin *extruder* yang sudah pernah dilakukan masih memiliki beberapa kekurangan, diantaranya material yang digunakan pada *screw* masih rentan terhadap karat. Penggunaan baja sebagai metrial untuk

screw kurang sesuai dengan sifat-sifat material yang dibutuhkan, seperti tahan terhadap suhu tinggi dan mudah berkarat. Penggunaan *pulley* yang dihubungkan oleh belt untuk mereduksi putaran kurang efisien. Karena, saat menerima beban yang berat, rentan terhadap selip. Daya motor listrik dan pemanas yang digunakan terlalu besar untuk mesin berskala laboratorium.

1.2. Landasan Teori

2.2.1. Definisi Mesin Extruder

Ekstrusi adalah proses pembentukan material dengan bantuan panas hingga bahan mencapai titik lebur yang kemudian dialirkan oleh *screw* untuk menimbulkan tekanan didalam *barrel* secara kontinyu, sehingga material keluar dengan bentuk sesuai penampang pada cetakan (*die*) (Irawan *dkk*, 2018).

Extruder merupakan mesin pelebur biji plastik yang prosesnya akan melewati beberapa zona panas yang memiliki panas berbeda dan di dorong sekaligus ditekan oleh *screw conveyor* sehingga pada bagian ujung terdapat *dies* (cetakan) sebagai pembentuk dari material (Sibarani, *dkk*, 2018).

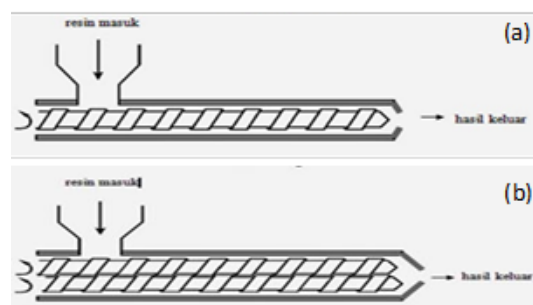
Dari penjelasan diatas, extruder merupakan mesin pelebur material baik logam maupun termoplastik yang prosesnya secara kontinyu dan dialirkan dan diberi tekanan oleh *screw conveyor* didalam *barrel* untuk melewati zona panas yang berbeda-beda sehingga sampai pada ujung *barrel* untuk melewati *die* (cetakan) yang nantinya akan membentuk material menjadi bentuk yang sesuai dengan *shape* pada *die*.

2.2.2. Klasifikasi Mesin Extruder

Klasifikasi ini didasarkan pada jumlah ulir atau *screw* yang digunakan pada mesin tersebut. Terdapat dua jenis extruder yang sering digunakan. Yaitu, *single screw* dan *double screw*. *single*

screw merupakan mesin *extruder* dengan jumlah ulir *single* atau satu di dalam *barrel*. Sedangkan, *double screw* adalah mesin *extruder* dengan ulir ganda di dalam *barrel*. (Dynisco, 2017).

Dipasaran terdapat dua jenis extruder. Seperti yang dipaparkan oleh Sibarani dkk (2018), menuturkan bahwa extruder ganda mempunyai nilai lebih pada campuran yang dihasilkan. Hal ini menyebabkan harganya lebih tinggi disbanding *single screw extruder*.



Gambar 2.5. *Screw Extruder* (a) extruder single screw;
(b) extruder double screw (Sibarani, 2018)

Perbedaan jumlah *screw*, memberikan karakteristik tersendiri, keuntungan dan kerugian pada mesin.

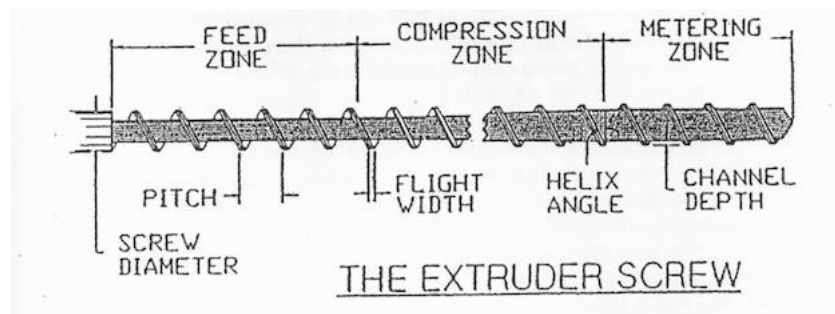
2.2.3. Komponen Pada Mesin *Extruder*

Extruder terdiri dari beberapa komponen yaitu, *screw conveyor*, *barrel*, *heter*, *die* dan motor listrik. Seperti yang dituturkan oleh Sumardi (2013) pada dasarnya ekstrusi terdiri dari dua komponen utama yaitu *barrel* dan *screw*. Irawan (2018) juga memaparkan bahwa extruder terdiri dari beberapa bagian utama. Seperti *screw helical* (*screw conveyor*), *barrel*, motor listrik, *gearbox*, *heater* dan *die* (cetakan).

2.2.3.1. *Screw Conveyor*

Menurut Irawan (2018), *screw conveyor* merupakan ulir yang berbentuk *helical* dengan 3 bagian. Yaitu, bagian masuk atau

(*feeding section*), bagian kompresi (*compression section*) dan bagian akhir (*matering section*). Bagian bagian ini memiliki fungsi tersendiri. *Feeding section* merupakan bagian pertama yang mengalirkan bahan ke bagian kompresi. Bagian kompresi berfungsi untuk memeberikan tekanan disertai pemanasan dari bagian luar *barrel* oleh *heater*. Bagian terakhir yaitu *matering section* memiliki fungsi untuk mengalirkan bahan yang sudah berbentuk pasta keluar melalui *die* atau cetakan.



Gambar 2.6. Section of screw (<https://www.plasticstoday.com>)

Pada *screw* terdapat beberapa perhitungan untuk menentukan diameter serta panjang *screw* yang dibutuhkan. (Sibarani, 2018).

Untuk rumus perhitungan pada *screw* seperti berikut :

- Daya yang dibutuhkan (N_o)

$$N_o = \frac{Q \times L \times W_o}{367} - \sin\beta \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

N_o = Daya yang dibutuhkan (kW)

Q = kapasitas mesin (kg/jam)

L = Panjang *screw* (m)

W_o = 4,0 (untuk material pasir butir)

β = kemiringan sudut *screw*

(0,9 0,8 0,7 0,65)

(5° 10° 15° 20°)

- Diameter screw

$$\tan \beta = \frac{s}{\pi \times D} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

β = Kemiringan Sudut (°)

s = Pitch (mm)

D = Diameter (mm)

2.2.3.2. *Barrel*

Barrel merupakan salah satu komponen utama pada mesin ekstruder yang berfungsi sebagai tempat plastisisasi bahan. Didalam *barrel* berlangsung proses pengumpanan, pemanasan, pemampatan dan pengadukan. Pada umumnya berbentuk pipa dengan salah satu sisinya terdapat lubang sebagai tempat masuk bahan. Tepat diatas lubang tersebut terdapat wadah yang sering disebut dengan *hopper*. *Barrel* terbuat dari bahan yang kuat, tahan panas dan tidak berkarat. Bahan yang cocok untuk digunakan adalah *stainless steel* yang memiliki karakteristik material seperti yang dibutuhkan.



Gambar 2.7. *Barrel* (Sibarani dkk, 2018).

Diameter dalam barrel dapat diketahui dengan rumus

$$D_b = D + 2\delta \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

D_b = Diameter dalam *barrel* (mm)

D = Diameter *screw* (mm)

δ = *Flight Clearance* (mm)

2.2.3.3. *Motor Listrik*

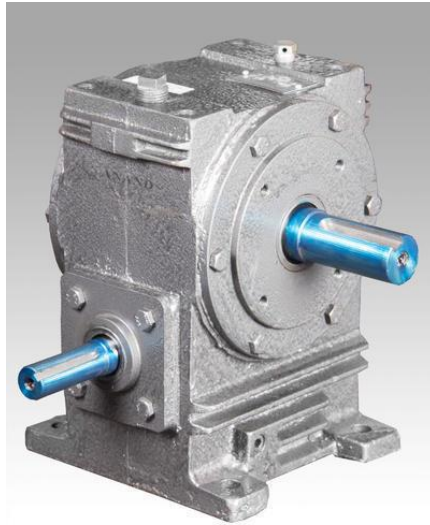
Motor listrik ini berfungsi untuk merubah energi elektomagnetis yang dihasilkan oleh magnet menjadi energi mekanik (http://mariza_w.staff.gunadarma.ac.id). Energi mekanik ini yang digunakan sebagai penggerak *screw*. menurut jenis arusnya dibedakan menjadi dua yaitu, motor ac dan motor dc. Motor listrik ac menggunakan tegangan input listrik rumah tangga. Sedangkan motor listrik dc menggunakan tegangan input dari baterai. Menurut sistem induksinya, motor listrik terbagi menjadi dua yaitu satu fase dan tiga fase.



Gambar 2.8. Motor Listrik (<http://id.hanzelmotor.org>)

2.2.3.4. *Gear Box*

Gear box pada mesin *extruder* berfungsi untuk mereduksi putaran motor listrik yang tinggi (Sumardi, 2013). *Gear box* berupa paduan roda gigi yang mempunyai rasio tertentu. Selain itu, *gear box* pada mesin *extruder* berfungsi untuk meningkatkan torsi atau kekuatan putaran. Torsi dibutuhkan karena pada saat proses pelelehan material, putaran pada *screw* menjadi berat.



Gambar 2.9. *Gear Box* (<https://www.indiamart.com/>)

Seperti fungsi yang tertera diatas, kita dapat menghitung reduksi putaran dan torsi yang dihasilkan menggunakan rumus sebagai berikut :

- Putaran *Gear Box* (Rpm)

Jika gear box menggunakan spur gear dapat kita gunakan rumus perhitungan sebagai berikut

$$n = \frac{a}{b} \times Rpm \text{ motor} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

n = Reduksi putaran (Rpm)

a = Jumlah gigi primer

b = Jumlah gigi sekunder

- Torsi

$$T = \frac{5250 \times Hp}{n} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

T = Torsi (N.m)

n = Reduksi putaran (Rpm)

$H_p =$ Daya input

- Laju Filament (v)

$$v = \frac{s \times n}{60} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

v = Laju Filament (m/detik)

s = *Pitch screw*

n = Putaran motor listrik Rpm

2.2.3.5. *Heater*

Heater merupakan element pemanas yang menggunakan material logam dengan resistensi tinggi dan didalam penggunaanya disesuaikan dengan kebutuhan. Saat teraliri listrik element itu mengubah energi listrik

Band heater termasuk salah satu elemen pemanas dengan bentuk lanjut yang merupakan modifikasi pelapisan oleh lembaran plat logam sebagai penyesuaian terhadap penggunaan.



Gambar 2.10. *Band Heater* (Luthfi, 2017)

Ada beberapa ketentuan yang perlu diperhatikan, seperti daya pemanas, jumlah kalor yang diserap oleh *barrel*, waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu pada barrel dan dies dan perpindahan konduktivitas pada pipa. Ketentuan – ketentuan tersebut dapat kita dapatkan menggunakan rumus sebagai berikut :

- Daya *Heater* yang dibutuhkan (watt)

Perhitungan ini digunakan untuk mengetahui daya yang diperlukan untuk menaikkan suhu *barrel* dari suhu ruangan menjadi suhu yang kita inginkan.

$$P = \frac{Q}{t} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

P = Daya listrik (W)

Q = Kalor barrel (j)

t = Waktu kenaikan suhu

- Jumlah kalor yang diserap barrel (Q)

Untuk mengetahui jumlah kalor yang diserap *barrel* atau dilepaskan oleh pemanas adalah

$$Q = m \times c \times \Delta T \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

Q = Jumlah kalor (joule)

m = Massa barrel (Kg)

c = Panas jenis material (j/kg°C)

ΔT = Perubahan suhu (°C)

- Suhu pada plastik

Rumus untuk mengetahui suhu yang diterima oleh plastik digunakan rumus konduksi pada pipa. Pada kondisi ini, radiasi kalor dan panas yang diserap oleh *screw* diabaikan.

$$Qk = \frac{2 \times \pi \times K \times (T_i - T_o)}{\ln(r_i/r_o)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

Q_k = Jumlah kalor konduksi (watt)

K = Konduktivitas thermal (W/M.K)

T_i = Temperatur dinding luar pipa (°C)

T_o = Temperatur dinding dalam pipa (°C)

r_o = Jari jari dinding luar pipa (m)

r_i = Jari jari dinding dalam pipa (m)

2.2.3.6. *Cetakan*

Dies merupakan salah satu komponen ekstruder yang berada diujung *barrel*. *Dies* berfungsi sebagai komponen untuk membentuk filament setelah biji plastik melalui proses pemanasan dan menjadikannya bentuk akhir. Terdapat macam macam bentuk *dies*, ada yang berbentuk piringan ada pula berbentuk silinder dengan bagian ujung terdapat *nozzle*. Pada beberapa *dies* terdapat *stopper* untuk menahan bahan sebelum keluar melalui *nozzle* (Sibarani, *et al*, 2018).



Gambar 2.11. *Dies* / Cetakan (Sibarani, *et al*, 2018)

2.2.4. **Data Material Plastik**

Titik leleh material ABS adalah 180°C - 240°C, PP adalah 200°C - 300°C dan nylon adalah 260°C - 290°C. (Mujiarto, 2005). Untuk lebih jelasnya ditunjukkan table 2.1.

Tabel 2.1. Data Karakteristik Material

ABS	<i>Density</i>	1,01 – 1,21 gr/cm ³
	Titik leleh	180°C - 240°C
PP	<i>Density</i>	0,89 – 0,91 gr/cm ³
	Titik leleh	200°C - 300°C
Nylon 6	<i>Density</i>	1,12 – 1,14 gr/cm ³
	Titik leleh	260°C - 290°C