

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengenalan Ekstrusi

Ekstrusi adalah proses yang berkesinambungan selama bahan baku plastik meleleh dan dibentuk menjadi panjang terus menerus dari produk plastik dengan profil konstan *cross sectional*, dan produk kemudian dapat dipotong menjadi panjang yang diinginkan.

Extruder yang biasanya tersedia dipasaran adalah dari jenis *extruder* ulir tunggal (*Single Screw Extruder/SSE*) dan *extruder* ulir ganda (*Twin Screw Extruder/TSE*) yang dapat digunakan secara luas pada produksi bahan-bahan makanan komersial. Model *Twin Screw Extruder* (TSE) lebih sering dipilih oleh perusahaan-perusahaan pengolah makanan.

Model ini merupakan pilihan yang tepat untuk melakukan diversifikasi jenis-jenis makanan, dikarenakan kemampuannya yang baik dalam mengatur daya tekan mekanis dan daya giling efektif pada adonan di dalam selubung mesin *extruder* (*barrel*).

Karena termoplastik dapat melunak dan dibuat mengalir dengan aplikasi panas, mereka dapat dibuat oleh proses seperti *injection molding*, ekstrusi, dan *blow molding* (*compression molding*).⁸ Teknologi ekstrusi merupakan teknologi yang cukup tua. Pada tahun 1797 di Inggris, Joseph Bramah menciptakan mesin untuk membuat pipa tanpa sambungan yang diperkirakan sebagai mesin ekstrusi pertama. Tidak lama kemudian produk - produk lain seperti sabun, macaroni dan bahan-bahan bangunan diproses menggunakan mesin yang sama. Pada mesin ini untuk menggiling dan mencampur bahan digunakan piston yang dioperasikan oleh tangan. Karena keterbatasan proses yang dilakukan *extruder* terdahulu maka *extruder* yang menggunakan ulir (*screw*) diciptakan untuk kebutuhan industri kabel. Konsep awal yang diketahui mengenai *extruder* ulir tunggal ditemukan di tahun 1873 pada suatu gambar rancangan milik Phoenix Gummiwerke A.G.⁹

⁸ S. Nopriansyah, *Rancang Bangun Cetakan Permanen Pulley Aluminium V-Belt A1 (Proses Pembuatan)*, Disertasi, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2021.

⁹ F. Shodiq, *Analisis Temperatur Pada Proses Extruding Pelet Apung*, Disertasi Doktor, Universitas Medan Area, 2021.



Gambar 2.1 Mesin Extruder

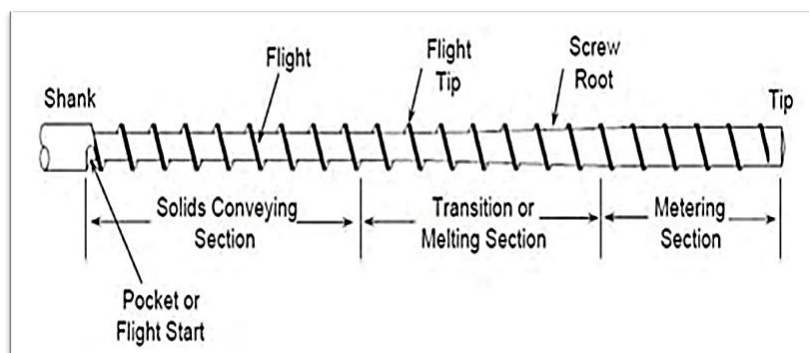
Sumber: Ching hsing machinery

2.1.1 Komponen Mesin Extruder

Secara umum, cara kerja dari mesin ekstrusi ini hampir sama dengan mesin *injection molding*. hanya saja perbedaannya tipis sekali, kalau pada *mesin injection molding* mesin *injection* dalam mencetak satu persatu dan cetakannya berpisah dengan tabung screwnya, sedangkan pada mesin ekstrusi dalam mencetak biasanya akan berkesinambungan dan hasilnya akan di potong oleh pisau agar menjadi butiran atau *pellet* plastik agar mudah dalam pengemasannya. Berikut adalah komponen utama yang harus diperhatikan dalam merancang mesin ekstrusi:

1. Screw

Mekanisme *screw* membuat perpindahan panas yang relatif cepat antara *barrel* yang panas dan material plastik dingin. Pada saat berputar, material dari *hopper* tertarik mesin ekstrusi ini mempunyai bagian-bagian utama berupa poros ber ulir *screw* yang berfungsi untuk mendorong dan menekan pellet plastik hingga keluar dari cetakan (*die*).



Gambar 2.2 Screw Extruder

Sumber: Cengel, Y.A. (2006)¹⁰

¹⁰ Y. A. Cengel, *A Practical Approach*, dalam *Heat Transfer*, vol. 37, no. 9, hlm. 61–65, 2006.

Dalam prosesnya bahan baku PS (*polystyrene*) berbentuk *pellet* dimasukan kedalam *hopper* dan digerakan dengan menggunakan sebuah poros ber ulir yang berbentuk helickal (*screw conveyor*) kemudian di antarkan hingga ke cetakan (*die*). poros berulir seperti pada Gambar 2.2 dari tiga bagian utama yaitu:

a. Bagian masuk (*feeding section*)

Bagian ini mempunyai diameter ulir yang konstan dan daerah tempat bahan mengalir tentu saja konstan, yang membawa bahan baku menuju bagian kompresi (bagian pelumatan / penglihatan).

b. Bagian Kompresi (*compression section*)

Pada Bagian kompresi ini, diameter *screw* meningkat secara kontinyu sedangkan sebaliknya daerah bebas alir dari bahan makin mengecil, disini bahan polimer dilunakan/diliatkan. Pada daerah ini juga bahan polimer di panaskan sehingga suhu tertentu agar bahan polimer dapat mengalir dengan lancar, sedangkan untuk menjaga agar *barrel* tidak kelebihan panas, maka di pasang pengatur suhu *barrel* pada suhu tertentu. Setelah melewati bagian kompresi, bahan kemudian di bawa pada bagian akhir.

c. Bagian Akhir (*Metering Section*)

Bagian ini sama dengan daerah pemasukan yang mempunyai daerah bebas alirnya konstan, namun daerah bebas aliran lebih kecil, disini Bahan akan mengalami kenaikan suhu lagi karena tekanan geser dan gesekan pada daerah ini cukup besar. mengisi saluran *screw* dan didorong menuju kearah *nozzle*. Agar jalanya material menjadi lancar, permukaan *screw* harus lebih halus dari *barrel*.

2. *Barrel*

Barrel sudah menjadi satu-kesatuan dengan *screw*, selain sebagai wadah pengaduk, *barrel* juga sebagai penghantar panas *heater* yang terpasang pada dinding *barrel*.

3. *Barrel Main Screw*

Barrel pada *main screw* berfungsi sebagai wadah pengaduk komposisi material utama dalam produksi *linner sheet*.



Gambar 2.3 Barrel Main Screw

Sumber: dokumentasi pribadi (2024)

4. *Barrel Side Screw*

Barrel pada *side screw* berfungsi sebagai wadah pengaduk material pelapis pada permukaan *linner sheet*.



Gambar 2.4 Barrel Side Screw

Sumber: dokumentasi pribadi (2024)

5. *Dies*

Setiap keluaran pencetakan pada mesin ekstrusi, *dies* bermacam-macam jenis dan bentuknya. Tergantung pengaplikasiannya dalam percetakan.



Gambar 2.5 Dies Extruder

Sumber: dokumentasi pribadi (2024)

6. Elemen pemanasan (*heater*)

Elemen pemanas adalah komponen yang menghasilkan panas untuk pemrosesan plastik pada mesin ekstrusi ini. Elemen ini terdiri dari tiga buah dan dipasang pada *barrel*. Elemen ini diletakan pada bagian pengumpan (*feed section*), penekan (*compression section*) dan bagian pengaduk (*metering section*). Untuk pengaturan temperatur proses plastinisasi, elemen pemanas ini dihubungkan ke *box control* temperatur termokopel.

7. Motor penggerak

Unit penggerak (*driver unit*) untuk mesin ekstrusi ini merupakan sebuah motor Servo 3- phasa dengan putaran 1500 Rpm, daya 45 KW, dan tegangan sebesar 380 Volt. Motor dihubungkan ke *gearbox* reduksi melalui melalui sebuah puli dan sabuk untuk mereduksi putaran.



Gambar 2.6 Motor Penggerak

Sumber: dokumentasi pribadi (2024)

8. *Gear box*

Fungsinya untuk mengubah putaran tinggi yang dihasilkan oleh motor servo menjadi putaran lambat namun lebih kuat. Untuk *gearbox* sendiri ada berbagai macam *type* , untuk rasio yang digunakan yaitu dengan spek I : 1/10.



Gambar 2.7 Gear Box

Sumber: dokumentasi pribadi (2024)

2.1.2 Proses Ekstrusi Plastik

Dalam ekstrusi plastik, bahan baku biasanya dalam bentuk *nurdles* (manik – manik kecil, sering disebut resin) yang diumpankan secara gravitasi dari *hopper* yang dipasang diatas masuk kedalam *barrel extruder*. Aditif seperti pewarna dan penghambat UV sering di gunakan dan dapat dicampur kedalam resin sebelum sampai di *hopper*. Proses ini banyak kesamaan dengan *plastic injection molding* dari sudut teknologi *extruder*, meskipun berbeda karena biasanya merupakan proses yang berkesinambungan. Sedangkan extrusi dapat menawarkan banyak profil serupa dalam panjang yang terus menerus, biasanya dengan tambahan penguat. Ini dapat dilakukan dengan menarik produk jadi dari cetakan pada saat lelehan polimer melewati cetakan (*die*).

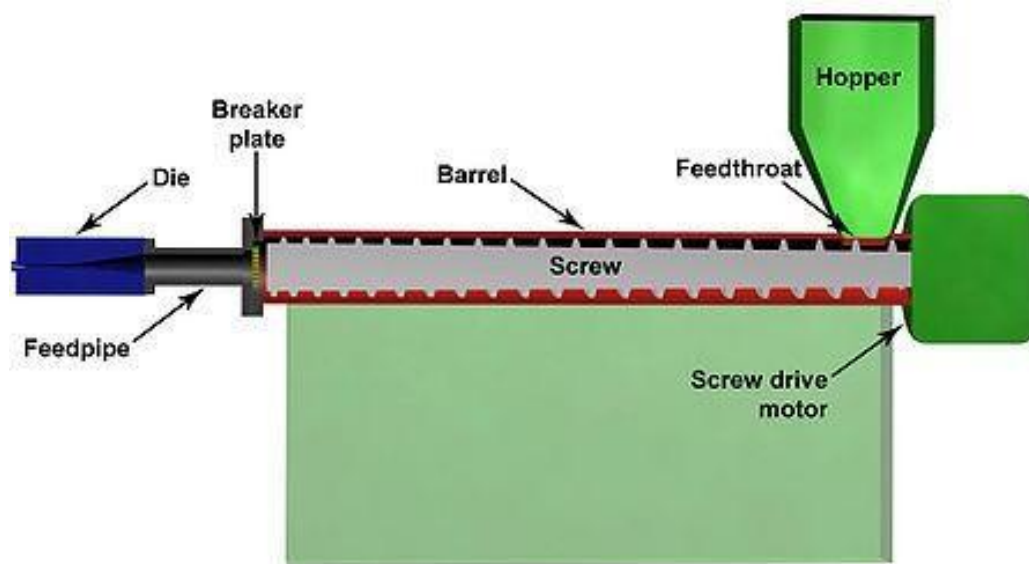
Bahan masuk melalui lubang umpan pada *barrel*, dan *screw* yang berputar memaksa butiran plastik menuju kedalam ruang pemanasan. Dalam sebagian besar proses pemanas diatur pada *barrel* dimana ada 3 atau lebih zona pemanas yang dikontrol oleh kontrol personal (PID) secara bertahap untuk meningkatkan suhu *barrel* dari belakang sampai depan.

Panas ekstra diperoleh dari tekanan kuat dan gesekan yang terjadi didalam *barrel*. bahkan, jika jalur ekstrusi berjalan cukup cepat maka pemanas dapat dimatikan dikarenakan suhu leleh dipertahankan oleh tekanan dan gesekan didalam *barrel*. Di sebagian besar *extruder*, kipas pendingin digunakan untuk menjaga suhu dibawah nilai yang ditetapkan jika terlalu banyak panas yang dihasilkan. Jika pendinginan udara terbukti tidak mencukupi maka *cooling jackets* yang digunakan.

Pada bagian depan *barrel*, plastik cair akan melewati *screw* dan berjalan melewati *screen pack* untuk menghilangkan kontaminan dalam lelehan. *Screen* diperkuat oleh *breaker plate* karena tekanan pada titik ini dalam melebihi 5000 psi (34MPa). Pemasangan *screen pack* ini juga berfungsi untuk menciptakan tekanan balik dalam ruang pemanas. Tekanan balik diperlukan untuk peleburan seragam dan pencampuran polimer yang tepat, dan beberapa banyak tekanan yang dihasilkan dapat diubah dengan memvariasikan komposisi *screen pack*. Kombinasi *breaker plate* dan *screen pack* ini juga menghilangkan *rotational memory* dari plastik cair dan sebagai gantinya menciptakan *memory longitudinal*.

Setelah melewati *breaker plate*, plastik cair memasuki cetakan. Cetakan inilah yang memberikan profil produk akhir dan harus dirancang agar plastik cair mengalir secara merata dari profil selinder ke bentuk profil produk. Produk yang dihasilkan harus didinginkan dan biasanya dilakukan dengan cara menarik hasil ekstrusi melalui penampang air. Plastik adalah isolator termal yang sangat baik dan oleh karena itu sulit untuk didinginkan dengan cepat. Dibandingkan dengan baja, plastik menghantarkan panasnya 2000 kali lebih lambat. Didalam ekstrusi tabung atau pipa, penampang air tertutup dan dilakukan vakum yang dikontrol dengan hati – hati untuk menjaga tabung atau pipa yang baru terbentuk tidak remuk. Untuk produksi seperti terpal plastik, pendinginan di dapatkan dengan cara menarik melalui satu set gulungan pendingin. Untuk film dan terpal yang sangat tipis, pendinginan udara dapat efektif sebagai tahap pendinginan awal, seperti pada ekstrusi film tiup.

Ekstrusi plastik juga banyak digunakan memproses ulang sampah plastik atau bahan mentah lainnya setelah dibersihkan, disortir dan dicampur. Bahan ini biasanya diekstrusi menjadi *filament* yang cocok untuk dipotong menjadi *pellet* untuk digunakan sebagai bahan untuk proses lebih lanjut.



Gambar 2.8 Proses Ekstrusi

Sumber: diadaptasi dari Mård (2019)¹¹

¹¹ M. Mård, *Use of Rheological Properties to Predict Extrusion Parameters*, Tugas Akhir, KTH, Stockholm, 2019.

Bahan plastik yang digunakan dalam ekstrusi termasuk tidak terbatas, diantaranya : *polyethylene* (PE), *polypropylene*, *acetal*, *acrylic*, *nylon*, *polystyrene* (PS), *polyvinyl chloride* (PVC), *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS) dan *polycarbonate*.



Gambar 2.9 Liner Sheet dari Mesin Extruder

Sumber: dokumentasi pribadi (2024)

2.2 Daya Penggerak

Pada saat proses *molding*, terdapat gaya (F) yang dibutuhkan untuk mendorong material plastik dan ada juga pergerakan (v) dari elemen pendorong. Maka dari kondisi ini dapat diketahui daya (P_{power}) yang dibutuhkan pada saat ekstrusi.

2.3 Sifat Thermal Plastik

Bahan Plastik Pengetahuan sifat thermal dari berbagai jenis plastik sangat penting dalam proses pembuatan dan daur ulang plastik. Sifat-sifat thermal yang penting adalah titik lebur (T_m), temperatur transisi (T_g) dan temperatur dekomposisi. Temperatur transisi adalah temperatur di mana plastik mengalami perenggan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Di atas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya. Temperatur lebur adalah temperatur di mana plastik mulai melunak dan berubah menjadi cair. Temperatur dekomposisi merupakan batasan dari proses pencairan. Jika suhu dinaikkan di atas temperatur lebur, plastik akan mudah mengalir dan

struktur akan mengalami dekomposisi. Dekomposisi terjadi karena energi thermal melampaui energi yang mengikat rantai molekul. Secara umum polimer akan mengalami dekomposisi pada suhu di atas 1,5 kali dari temperatur transisinya. Data sifat termal yang penting pada proses daur ulang plastik bisa dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Temperatur Transisi dan Temperatur Lebur Plastik

Jenis Bahan	T _m (°C)	T _g (°C)	Temperatur Kerja Maks. (°C)
PP	168 – 175	-20	81 - 100
HDPE	130- 137		59 - 110
LDPE	98 - 115	-25	100 - 220
PA	260	50	100
PET	245 - 265	73 - 80	65
ABS		110	85
PS		74 - 105	50 - 85
PMMA		85 - 105	50 - 90
PC		150	246
PVC		75 - 105	85 - 100

Sumber: Budiyanoro (2010)

2.4 Sifat Material Plastik

1. *Polypropylene*

- Density/massa jenis pada (70 °F) : 0.9 gr/cc
- Massa jenis rendah
- ketahanan temperatur sampai 110 °C
- Mengambang di air
- PP tahan terhadap asam dan basa organik lemah, alkohol, oli, deterjen
- Jika dibakar, kecepatannya *slow* berbau diesel dengan warna nyala api *blue* (biru) dengan ujung *yellow* (kuning)
- Material ulet, permukaan licin tidak bisa di cat/plating dan ditemplei stiker
- Mudah deformasi saat di *eject* di moldnya
- Temperatur proses *melt* (melebur) pada: 420-520 °F
- Temperatur proses *molding* (pencetakan) : 60-150 °F
- Contoh aplikasinya : bagian dalam mesin cuci pakaian, rumah pompa, kontainer, koper, mainan, dll

2. *Polyvinyl Chloride (PVC)*

- a. PVC tahan terhadap Asam, basa, alkohol, *grease*, bensin
- b. PVC tidak tahan terhadap perubahan cuaca
- c. Jika dibakar, kecepatannya lambat berbau *hydrochloric* dengan warna nyala api kuning dengan tepian api berwarna hijau
- d. Material U PVC (*Hard PVC*) : rigid dan keras, tahan terhadap larutan kimia tinggi
- e. Material P PVC (*Soft PVC*) : Ulet, fleksibel
- f. Density/ massa jenis : 1.29-1.44 gr/cm³ - tenggelam dalam air
- g. Temperatur proses injeksi : 180 – 210 °C
- h. Temperatur proses *blow* : 180 – 210 °C
- i. Temperatur proses ekstrusi : 170 - 200 °C
- j. Penggunaan PVC : *Hard PVC* : Pipa saluran air, Botol, *Fitting*
- k. *Soft PVC* : Seal /Penyekat, Kaki boneka, selang

3. *Polyacetal / Polyoxymethylene (POM)*

Kalau dibakar, kecepatannya *slow* berbau asam cuka (tajam menyengat) dengan warna nyala api kuning dengan letupan. Berjelaga dan berasap hitam.

- a. Tahan terhadap temperatur
- b. Daya serap air rendah
- c. Material : keras, ulet
- d. Density/massa jenis : 1.42 gr/cm³ – Tenggelam dalam air
- e. Temp proses Injeksi : 200 – 210b °C.
- f. Temp Proses Blow : 180 °C.
- g. Temp Proses ekstrusi : 180 – 190 °C.
- h. Penggunaan: Roda gigi/ gear, baut, mur, roda

4. *Polyethylene (PE)*

- a. *Density* pada (70 °F) : 0.94 gr/cc - Mengambang dalam air.
- b. Kalau dibakar, kecepatannya *fast* berbau parafin dengan warna nyala api biru dengan ujungnya kuning (Melebur).
- c. Material Ulet
- d. Isolasi yang sangat baik
- e. PE tahan terhadap : asam, basa, larutan garam, air, alkohol
- f. *Density*/massa jenis : 0.92-0.955 gr/cm³.

- g. Temperatur proses injeksi : LDPE : 160 – 260 °C, HDPE : 200 – 280 °C.
- h. Temperatur proses *blow* : LDPE : 1400 °C, HDPE : 160 – 190 °C.
- i. Temperatur proses ekstrusi : LDPE : 1400 °C, HDPE : 180 – 250 °C.
- j. Penggunaan : Isolasi kawat dan kabel, pipa pemanas, tempat botol (krat),
box baterai.

5. *Polystyrene* (PS)

- a. Sifat-sifat mekanis yang menonjol dari bahan ini adalah kaku, keras, mempunyai bunyi seperti *metallic* bila dijatuhkan.
- b. Ketahanan PS terhadap bahan-bahan kimia umumnya tidak sebaik ketahanan yang dipunyai oleh PP atau PE. PS larut dalam eter, hidrokarbon aromatic dan chlorinated hydrocarbon. PS juga mempunyai daya serap air yang rendah, dibawah 25 %
- c. PS mempunyai kekuatan permukaan relative lebih keras dibandingkan dengan jenis termoplastik yang lain. Meskipun demikian, bahan ini mudah tergores.
- d. Sifat optis dari PS adalah mempunyai derajat transparansi yang tinggi, dapat melalui semua panjang gelombang cahaya (A 90%). Disamping itu dapat memberikan kilauan yang baik yang tidak dipunyai oleh jenis plastic lain, dimana bahan ini mempunyai indeks refraksi 1,592.
- e. Karena mempunyai sifat daya serap air yang rendah maka PS digunakan untuk keperluan alat-alat listrik. PS foil digunakan untuk spacers, slot liners dan covering dari kapasitor, koil dan keperluan radar.
- f. PS mempunyai softening point rendah (90 °C) sehingga PS tidak digunakan untuk pemakaian pada suhu tinggi, atau misalnya pada makanan yang panas. Suhu maksimum yang boleh dikenakan dalam pemakaian adalah 75 °C. Disamping itu, PS mempunyai sifat konduktifitas panas yang rendah.