

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik

Plastik adalah sejenis makromolekul yang terbentuk melalui proses yang disebut polimerisasi. Dalam polimerisasi, molekul-molekul kecil atau monomer digabungkan melalui reaksi kimia untuk membentuk molekul yang lebih besar, disebut polimer. Plastik sendiri adalah salah satu contoh senyawa polimer yang komponen utamanya terdiri dari karbon dan hidrogen (Sriyanto & Suhartoyo, 2018).

Plastik memiliki densitas rendah, bersifat isolator listrik, kekuatan mekanik bervariasi, ketahanannya terhadap suhu terbatas, dan ketahanannya terhadap bahan kimia juga bervariasi. Selain itu, plastik murah untuk diproduksi, ringan, dan mudah dibuat (Berliana et al., 2022).

2.2 Jenis-Jenis Plastik

Plastik umumnya diklasifikasikan menjadi tiga jenis : termoplastik, termoset, dan elastomer. Termoplastik merupakan jenis plastik yang melunak jika dipanaskan dan mengeras jika didinginkan. Contoh bahan termoplastik antara lain polietilen, polipropilen, dan PVC (polivinil klorida). Plastik termosetting mengeras saat dipanaskan dan tidak dapat didaur ulang. Contoh plastik termosetting adalah Bakelit, silikon, epoxy, dan lainnya. Sedangkan, elastis (elastomer) adalah bahan yang sangat elastis. Contoh bahan elastis yaitu karet sintetis. Jenis plastik yang

ketiga adalah elastomer . Elastomer terdiri dari kata "elastis" dan "mer". Plastik jenis ini mempunyai sifat seperti karet. Elastomer pertama kali ditemukan oleh Charles Goodyear pada tahun 1839 (Surdia, Tata, 2000 dalam Yanto et al., 2018).

Berdasarkan macam-macam plastik tersebut, thermoplastik merupakan jenis plastik yang bisa didaur-ulang/dicetak lagi dengan cara proses pemanasan ulang. Contoh: *polietilen (PE)*, *polistiren (PS)*, *akrilonitril butadiene stiren (ABS)*, *polikarbonat (PC)* (Sumartono, 2019).

Berdasarkan jenis produknya, plastik digolongkan menjadi 6 yaitu *High Density Polyethylene (HDPE)*, *Low Density Polyethylene (LDPE)*, *Polypropylene (PP)*, *Polyvinyl Chloride (PVC)*, *Polystyrene (PS)* and *Polyethylene Terephthalate (PET)* (Hartulistiyoso dkk, 2015 dalam Astuti et al., 2020). Jenis-jenis plastik tersebut memiliki kode plastik dengan karakteristik masing-masing. Berikut ini adalah jenis-jenis plastik yang dan sifatnya.

Tabel 2. 1 Jenis-jenis plastik

Jenis Plastik	Sifat
PET atau PETE (<i>Polyethylene terephthalate</i>)	• Ditemukan pada air dalam kemasan komersil, berwujud transparan dan tipis. • Ditujukan untuk pemakaian tunggal, botol bekas minuman ini tidak dianjurkan untuk dipakai ulang. • Melunak pada suhu °C.
HDPE (<i>High-density polyethylene</i>)	• Berwujud kaku, kuat, keras, buram, lebih tahan terhadap suhu tinggi, dan mudah didaur ulang. Tahan terhadap bahan kimia dan kelembaban. • Ditemukan pada wadah minuman komersil detergen serta sampo. • Melunak pada suhu 75 °C.

Sumber: Astuti et al., 2020

Tabel 2. 1 Jenis-jenis plastik (lanjutan)

Jenis Plastik	Sifat
V atau PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	• Adalah jenis plastik yang paling sulit didaur ulang. • Ditemukan pada botol-botol cairan pembersih komersil, sabun, sampo, pembungkus kabel, dan pipa plastik. • Melunak pada suhu 80 °C.
LDPE (<i>Low Density Polyethylene</i>)	• Plastik ini dibuat menggunakan minyak bumi (thermoplastic). • Karena memiliki resistensi yang cukup baik terhadap reaksi kimia, maka LDPE tergolong cukup aman untuk membungkus makanan atau minuman. • Melunak pada suhu 70 °C.
PP (<i>Polypropylene</i>)	• Adalah pilihan jenis plastik terbaik; kuat, tahan panas, cukup resisten terhadap kelembapan, minyak, dan bahan kimia, serta berdaya tembus uap yang rendah. • Biasa ditemukan pada botol minuman, botol bayi, kotak makanan, sedotan, kantong belanja (kresek), gelas, serta wadah margarin dan yoghurt. • Melunak pada suhu 140 °C.
PS (<i>Polystyrene</i>)	• Berciri khas kaku, getas, buram, dan sulit didaur ulang. • Biasa ditemukan pada <i>styrofoam</i>. • <i>Polystyrene</i> sangat tidak disarankan untuk digunakan sebagai pembungkus makanan atau minuman.

Sumber: Astuti et al., 2020

Berikut adalah gambar contoh bahan termoplastik (polietilen , polipropilen, dan polivinil klorida).



Gambar 2. 1 polietilen (PE),
(Sumber: <https://kipmi.or.id>)



Gambar 2. 2 polipropilen
(Sumber: <https://tokoplas.com>)



Gambar 2. 3 PVC (polivinil klorida)
(Sumber: <https://www.siu-bijiplastik.com>)

2.3 Plastik Jenis *Polypropylene*

Polypropylene adalah polimer kristalin yang dihasilkan melalui proses polimerisasi gas propilena. Salah satu keunggulan utamanya adalah *specific gravity* yang rendah, menjadikannya lebih ringan dibandingkan banyak jenis plastik lainnya. *Polypropylene* juga memiliki titik leleh yang relatif tinggi, yaitu sekitar 140-165°C, yang memungkinkan penggunaannya pada suhu yang lebih tinggi. Sedangkan, titik kristalisasinya berada di antara 130-135°C. (Mawardi & Lubis, 2019). *Polypropylene* merupakan salah satu jenis plastik yang sering didaur ulang (Yanel, 2022).

Tabel 2. 2 Sifat fisik, mekanis dan termal *polypropylene*

TYPICAL PROPERTIES of POLYPROPYLENE				
ASTM or UL test	Property	Homopolymer	Co-Polymer	Flame Retardant
<i>PHYSICAL</i>				
D792	Density (lb/in ³) (g/cm ³)	0.033 0.905	0.033 0.897	0.035 0.988
D570	Water Absorption, 24 hrs (%)	<0.01	0.01	0.02
<i>MECHANICAL</i>				
D638	Tensile Strength (psi)	5,000	5,000	4,500
D638	Tensile Modulus (psi)	195,000	-	-
D638	Tensile Elongation at Yield (%)	12	23	28
D790	Flexural Strength (psi)	7,000	5,400	-
D790	Flexural Modulus (psi)	180,000	160,000	145,000
D695	Compressive Strength (psi)	7,000	6,000	-
D695	Compressive Modulus (psi)	-	-	-

Sumber: Yanel, 2022

2.4 Sifat Thermal Plastik

Memahami berbagai jenis karakteristik termal plastik sangat penting untuk produksi dan daur ulang plastik. Titik leleh (T_m), suhu transisi (T_g), dan suhu

dekomposisi (Td) merupakan parameter termal yang penting. Temperatur transisi merupakan temperatur di mana terjadi perenggan struktur pada plastik sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Di atas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul dapat bergerak lebih bebas yang dapat diketahui dengan peningkatan kelenturannya. Temperatur lebur adalah temperatur di mana plastik mulai melunak dan berubah wujud menjadi cair. Temperatur dekomposisi merupakan batasan dari proses pencairan. Apabila suhu ditingkatkan di atas temperatur lebur, plastik akan dengan mudah mengalir dan strukturnya akan mengalami dekomposisi. Dekomposisi terjadi apabila energi termal melampaui energi yang mengikat rantai molekul. Umumnya, polimer akan mengalami dekomposisi pada suhu di atas 1,5 kali dari temperature transisinya (Budiyantoro, 2010 dalam Sriyanto & Suhartoyo, 2018).

Tabel 2. 3 Sifat thermal plastik

Jenis Bahan	Tm (°C)	Tg (°C)	Temperatur Kerja Maks (°C)
PP	168	5	80
HDPE	134	-110	82
LDPE	330	-115	260
PA	260	50	100
PET	250	70	`100
ABS		110	85
PS		90	70
PMMA		100	85
PC		150	246
PVC		90	71

(Sumber: Budiantoro, 2010)

2.5 Injeksi Molding

Injeksi molding adalah proses pembentukan plastik menjadi bentuk yang diinginkan dengan cara menekan plastik cair ke dalam cetakan. Proses ini banyak digunakan dalam industri untuk membuat produk dengan bentuk geometris yang rumit, menghasilkan produktivitas tinggi, ketelitian yang presisi, dan biaya yang relatif rendah (Permana & Anwar, 2021).

Proses yang terjadi pada injection molding terdiri dari empat tahapan yaitu pertama clamping sebelum penginjeksian bahan ke dalam *mold* atau cetakan, dua bagian sisi cetakan harus tertutup rapat pada mesin, tahap kedua yaitu injeksi plastik cair yang diinjeksikan ke dalam *mold* atau cetakan melalui spure kemudian runner dan memenuhi ruang rongga sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan. Tahap ketiga yaitu pendinginan yang merupakan proses pendinginan material plastik setelah proses penyuntikan, proses pendinginan berlangsung di cetakan dengan sistem sirkulasi fluida di dalam *mold* atau cetakan, Tahap yang terakhir yaitu tahap pelepasan produk dari cetakan terjadi ketika *mold* atau cetakan dibuka lalu mekanisme sistem injeksi akan mendorong bagian produk plastik keluar dari cetakannya (Gusniar, 2018).

Mesin injeksi plastik merupakan sebuah mesin yang digunakan secara manual atau automasi, yang memiliki 2 jenis tipe mesin. Yaitu mesin injeksi plastik vertikal dan mesin injeksi plastik horisontal (Alimuddin & Permana, 2023).

2.6 Mesin Injeksi Molding Vertikal

Mesin injeksi molding vertikal adalah jenis mesin injeksi yang digunakan untuk memproses material termoplastik. Mesin ini memiliki orientasi vertikal, di

mana *injection unit* dan cetakannya diposisikan tegak atau vertikal, dengan unit injeksi berada di atas cetakan dan material plastik dimasukkan ke mesin dari atas. Pada penelitian sebelumnya telah dibuat mesin injeksi molding mini vertikal, tetapi mesin tersebut belum bisa memberikan hasil pengujian yang diharapkan (Darmanto, S., & Ramadhan, F. H., 2023). Berdasarkan hasil uji coba sebanyak empat kali pada mesin injeksi mini pengolahan limbah plastik, maka bentuk produk penutup galon tersebut belum dapat dicapai. Hal tersebut disebabkan kurangnya tekanan injeksi pada saat penginjeksian cairan plastik dari barrel ke dalam mold dikarenakan toleransi batang penekan (*plunger*) dan *barrel* yang terlalu besar atau kurang kesembuan antara barrel dan plunger akibat bending saat proses pengelasan. Selain itu diameter plunger terlalu kecil sehingga cairan plastik sulit masuk kedalam mold. Alat ukur pada mesin injeksi tersebut juga kurang presisi sehingga sulit mengetahui suhu saat dipanaskan. (Darmanto, S., & Ramadhan, F. H., 2023)



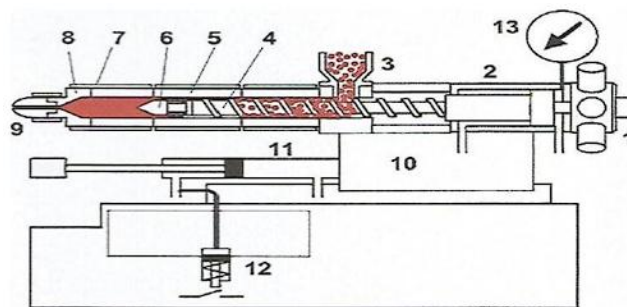
Gambar 2. 4 Mesin injeksi molding vertikal
(Sumber Darmanto, S., & Ramadhan, F. H., 2023)

2.7 Bagian-bagian Mesin Injeksi Molding

Mesin injeksi molding terdiri dari dua bagian besar, yaitu unit injeksi dan unit clamping. Setiap tipe mesin injeksi yang berbeda akan memiliki perbedaan juga dalam unit injeksi dan unit clampingnya (Permana & Anwar, 2021).

2.7.1 Injection Unit

Injection unit adalah tempat untuk memanaskan plastik dan untuk proses injeksi plastik kedalam cetakan atau *mold* (Permana & Anwar, 2021). Unit ini biasanya terdiri dari *hopper* (tempat menampung bahan baku), *screw* (sekrup) yang berfungsi mencampur dan melelehkan plastik, serta *nozzle* yang bertugas menyuntikkan plastik cair ke dalam cetakan. Pada dasarnya, unit injeksi bertugas mengubah bahan baku plastik yang masih berwujud padat menjadi cairan yang dapat disuntikkan ke dalam cetakan untuk membentuk produk plastik yang diinginkan. Proses ini melibatkan pemanasan material hingga titik leleh, kemudian mendorongnya melalui sekrup ke dalam cetakan dengan tekanan.



Gambar 2. 5 Bagian *injection unit* mesin injeksi molding
(Sumber: Permana & Anwar, 2021)

2.7.2 Clamping Unit

Clamping Unit berfungsi sebagai area untuk meletakkan cetakan, serta menjalankan proses membuka, menutup, dan mengeluarkan bagian dari cetakan. Saat cetakan ditutup, mesin harus memiliki kekuatan penjepit yang sangat kuat

karena cetakan akan diisi dengan material cair panas yang bertekanan tinggi. Jika kekuatan mesin tidak cukup untuk menutup cetakan dengan rapat, material plastik cair bisa bocor di antara celah *core* dan *cavity* (Permana & Anwar, 2021).

2.8 Cetakan atau *Molding*

Cetakan, yang sering disebut sebagai *molding*, adalah rongga kosong tempat plastik leleh ditempatkan agar membentuk sesuai dengan cetakan. Cetakan ini terdiri dari dua bagian utama: pelat bergerak (*moveable plate*) dan pelat diam (*stationary plate*). Sesuai dengan fungsinya, pelat bergerak dipasang pada *moveable plate* di mesin injeksi molding, sementara pelat diam dipasang pada *stationary plate* (Permana & Anwar, 2021)

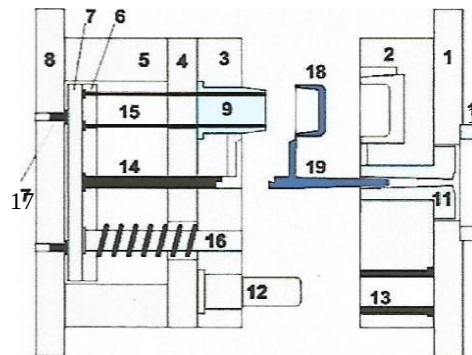
Cetakan (*mold*) terdiri dari berbagai komponen yang dirangkai bersama untuk membentuk sebuah konstruksi, di mana setiap komponen memiliki peran penting dalam penggunaan *mold*. Secara umum, desain dan konstruksi setiap *mold* serupa, yang membedakannya hanyalah beberapa komponen tambahan yang disesuaikan dengan fungsi dan ukuran *mold* tersebut (Irawan et al., 2023).

2.9 Jenis-Jenis Cetakan

Menurut Permana & Anwar, (2021) Cetakan umumnya dapat dibedakan menjadi 2 tipe yaitu, tipe *mold 2 Plate* dan *mold 3 Plate*. *Mold 2 Plate* terdiri dari *cavity plate* dan *core plate*, sedangkan untuk *mold 3 Plate* ditambah *runner plate*

2.9.1 *Mold 2 Plate*

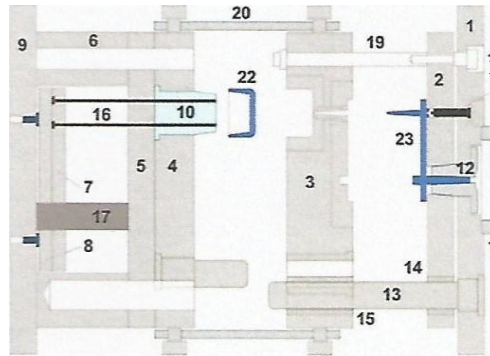
Mold 2 plate menghasilkan produk yang masih terhubung dengan *runner*, yaitu aliran material dari *sprue bush* dan seterusnya. Untuk memisahkan produk dari *runner*, biasanya digunakan nipper cutting atau tang potong agar hasil potongannya halus dan rapi. Jika ingin mendapatkan produk yang terpisah dari *runner* secara otomatis, sistem *submarine gate* dapat diterapkan. Sedangkan untuk menghasilkan produk tanpa *runner*, bisa menggunakan sistem *hot runner*.



Gambar 2. 6 *Mold 2 plate*
(Sumber: Permana & Anwar, 2021)

2.9.2 *Mold 3 Plate*

Perbedaan utama antara *mold 2 plate* dan *mold 3 plate* terletak pada jumlah *plate*-nya. *Mold 3 plate* memiliki satu *plate* tambahan, yaitu *runner plate*. *Runner plate* berfungsi untuk memisahkan produk dari *runner* dengan menggunakan sistem *gate* yang disebut *pin point gate*. Saat *mold* terbuka, *runner* harus tetap menempel pada *runner plate* dengan jaminan *runner lockpin* pada setiap *gate*-nya.



Gambar 2. 7 3 Plate mold
(sumber: Permana & Anwar, 2021)

2.10 Jenis-Jenis Cacat Injeksi Molding

Banyak faktor yang dapat menyebabkan produk tidak sesuai dengan hasil yang diinginkan sehingga produk dinyatakan cacat. Menurut Sulung Wibawansyah, (2024) terdapat beberapa cacat dalam injeksi molding dan faktor penyebabnya antara lain :

1. *Short Shot*

Short shot merupakan cacat produk yang diakibatkan pengisian yang tidak sempurna. Faktor yang menyebabkan antara lain:

- Pelelehan biji plastik yang tidak sempurna.
- Injeksi yang lambat.
- Tekanan injeksi yang kurang.
- Udara tidak keluar dari mold cavity.
- Temperatur mold yang rendah.



Gambar 2. 8 Cacat *short shot*
(Sumber: <https://www.topgrid.co>)

2. *Flash*

Flash adalah cacat produk akibat material yang berlebih. Faktor yang menyebabkan antara lain:

- Masih terdapat celah pada proses clamping.
- Mold kurang rapat saat proses injeksi
- Material terlalu cair.



Gambar 2. 9 Cacat *flash*
(Sumber: <https://www.beaumontinc.com>)

3. *Sink Mark*

Sink mark adalah cacat produk berupa bentuk cekung. Faktor yang menyebabkan antara lain:

- Perbedaan ketebalan produk.
- Temperatur core dengan cavity berbeda.
- Loading time material terlalu cepat.
- Sistem pendinginan mold yang kurang.
- Putaran screw yang terlalu cepat mengakibatkan peningkatan suhu.



Gambar 2. 10 Cacat *sink mark*
(sumber: <https://prototool.com>)

4. *Flow Mark*

Flow mark adalah cacat produk dimana terdapat pola bergaris pada produk.

Faktor yang menyebabkan antara lain:

- Proses injeksi yang lambat.
- Suhu mold yang rendah.
- Suhu peleburan material yang rendah.
- Permukaan mold yang terkontaminasi minyak
- Terdapat udara yang terjebak pada cetakan.



Gambar 2. 11 Cacat *flow mark*
(Sumber: <https://gudmould.wordpress.com>)

5. *Black Spot*

Black spot adalah cacat produk yang ditemukan bintik hitam pada produk.

Faktor yang menyebabkan antara lain:

- Kurang bersih saat penggantian material.
- Proses pewarna yang tidak stabil.
- Material yang mengalami pemanasan/pengeringan terlalu berlebihan.

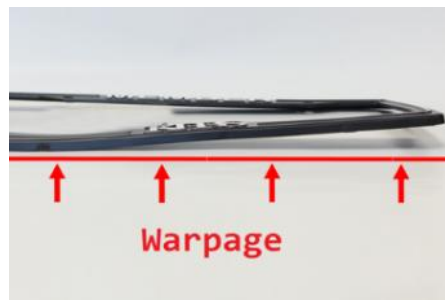


Gambar 2. 12 Cacat *black spot*
(sumber: <https://www.plasticmoulds.net>).

6. *Warpage*

Warpage adalah cacat produk yang terlihat pada permukaan produk berupa lengkungan atau bengkok. Faktor yang menyebabkan antara lain:

- Holding pressure yang rendah.
- Pendinginan mold yang tidak seragam.
- Perbedaan temperatur disebagian cetakan.



Gambar 2. 13 Cacat *warpage*
(sumber: <https://waykenrm.com>).

7. *Colour streaks*

Colour streaks adalah cacat produk yang terjadi ketika ada campuran warna pada suatu produk yang dihasilkan menjadi belang. Faktor yang menyebabkan antara lain:

- Pencampuran warna yang tidak stabil.
- Peleburan material yang prosesnya terlalu lama.
- Temperatur peleburan material yang tinggi.



Gambar 2. 14 Cacat *colour streak*
(Sumber: <https://www.nexpcb.com>)