

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik

Plastik merupakan material artifisial yang sering kita dengar dengan sebutan polimer. Plastik dibuat dengan cara *polimerisasi* yaitu menyusun dan membentuk secara sambung-menyambung bahan dasar plastik yang disebut *monomer* dan tersusun oleh rantai panjang *monomer* yang disebut *polymer*. Plastik ini memuat beragam kombinasi dari oksigen, hidrogen, nitrogen, karbon, silikon, *chlorine*, *fluorine*, dan *sulfur*. Plastik juga memiliki karakteristik yang lunak, mudah dibentuk, dan bentuknya hampir cair selama proses pembentukan dan akan membeku atau mengeras setelah dibentuk. Penggunaan barang berbahan plastik saat ini sudah semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan harga logam. Penduduk dunia khususnya Indonesia memilih barang berbahan plastik karena memiliki keunggulan, diantaranya: [5]

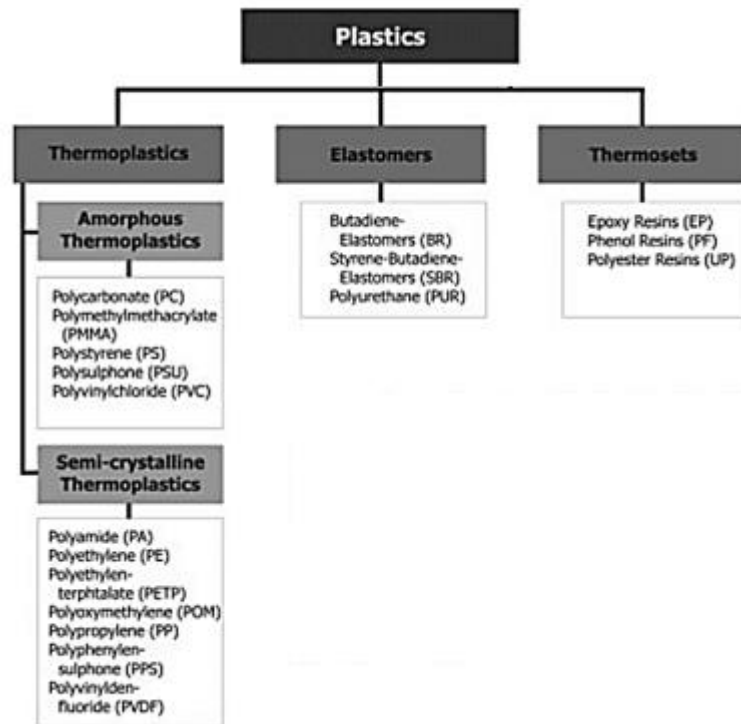
- a. Memiliki berat yang ringan karena memiliki massa jenis yang sedikit.
- b. Tidak bisa mengalami korosi.
- c. Tidak sulit untuk dibentuk (*Moldable*).
- d. Memiliki sifat isolator yang baik terhadap listrik.

Selain kelebihan diatas, plastik juga memiliki kelemahan yaitu:

- a. Tidak mudah terurai secara alami.
- b. Mampu mengeluarkan zat-zat yang berbahaya bila dibakar
- c. Beberapa jenis plastik tidak dapat digunakan sebagai kemasan atau wadah makanan secara terus-menerus.

2.2 Klasifikasi Material Plastik

Berdasarkan struktur makromolekul dan sifat fisis material yaitu sifat *thermal*, maka dapat dibedakan menjadi beberapa golongan yaitu:



Gambar 2. 1 Klasifikasi plastik [6]

Pada Gambar 2.1 merupakan klasifikasi plastik dan jenis-jenisnya. Respon polimer terhadap gaya mekanis pada suhu tinggi saling berkaitan dengan struktur molekul yang dominan. Sesuai dengan klasifikasi plastik berdasarkan sifat *thermal*, maka *thermoplastics* dan *thermosets* merupakan klasifikasi berdasarkan *thermal*.

a. *Thermoplastic*

Termoplastik merupakan *polymer* yang akan melunak ketika dipanaskan dan akan mengeras setelah didinginkan. Pada saat suhu dinaikkan gaya ikatan sekunder berkurang dengan peningkatan gerakan molekuler. Proses tersebut dapat dilakukan berulang-ulang dengan merubah bentuk sesuai kebutuhan sehingga dapat menghasilkan produk dengan bahan polimer. Hal tersebut yang membedakan dengan polimer lain.

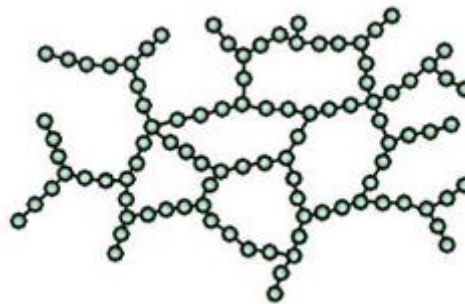


Gambar 2. 2 Rantai polimer linear (kiri), rantai polimer bercabang (kanan) [8]

Pada Gambar 2.2 merupakan rantai molekul polimer pada jenis termoplastik. Polimer *thermoplastics* ini memiliki 2 (dua) jenis, yaitu *amorphous thermoplastics* dan *semi-crystalline thermoplastics*. *Amorphous Thermoplastics* terdiri dari *Polycarbonat* (PC), *Polymethylmethacrylate* (PMMA), *Polystyrene* (PS), *Polysulphone* (PSU), *Polyvinylchloride*. Sedangkan untuk *Semi-Crystalline Thermoplastics* terdiri dari *Polyarride* (PA), *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP) dan lain-lain. Polimer termoplastik terdiri dari makromolekul dengan rantai yang linear atau bercabang. [7]

b. Thermosetting

Termoset atau *Thermosetting* merupakan polimer yang memiliki struktur ikatannya silang (*cross link*) dan dikatakan sebagai polimer *network*. Jenis ini akan menjadi keras secara permanen selama pembentukannya dan tidak melunak seperti termoplastik ketika dipanaskan.



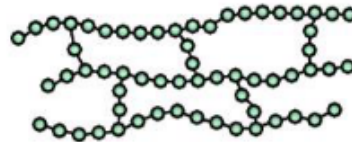
Gambar 2. 3 Rantai polimer *network* [8]

Pada Gambar 2.3 merupakan rantai polimer jenis *network*. Ketika dipanaskan ikatan ini langsung mengikat rantai *polymer* menjadi satu untuk menahan gerakan seperti getaran dan perputaran rantai pada temperatur yang tinggi. Hal itulah yang menyebabkan polimer jenis ini sulit melunak ketika dipanaskan. Polimer jenis ini umumnya memiliki sifat keras dan kuat

dibandingkan termoplastik dan memiliki kestabilan dimensi yang baik. Contoh polimer thermoset yaitu, *Bakelit*, *Silicone*, dan *epoxy*. [9]

c. *Elastomer*

Polimer *elastomer* merupakan bahan yang bersifat elastis. Polimer ini memiliki jumlah ikat silang yang sedikit dan tersusun secara acak atau tidak teratur.



Gambar 2. 4 Rantai polimer *cross link* [8]

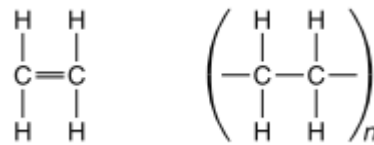
Pada Gambar 2.4 merupakan rantai polimer jenis *cross link* yang terdapat pada elastomer. Polimer ini termasuk sebagai polimer ikat silang (*cross link*) karena setiap individunya disambungkan dengan ikatan penghubung.

2.3 *Polyethylene (PE)*

Polietilen merupakan salah satu jenis bahan dari *thermoplastic* yang tembus pandang dan berwarna putih serta memiliki titik leleh yang beragam sesuai dengan ketebalannya, tetapi pada umumnya berkisar antara 90°C - 137°C bahkan jika ketebalannya tinggi bisa mencapai kisaran 200°C – 280°C. [10]

Polietilen memiliki sifat ketahanan yang baik terhadap zat kimia dan pada suhu kamar tidak larut dalam pelarut organik dan anorganik. Polietilen merupakan plastik yang sangat umum digunakan untuk kepentingan masyarakat dan plastik ini juga sudah ada pada tahun 1930. Plastik polietilen lebih banyak digunakan oleh khalayak manusia karena sifatnya.

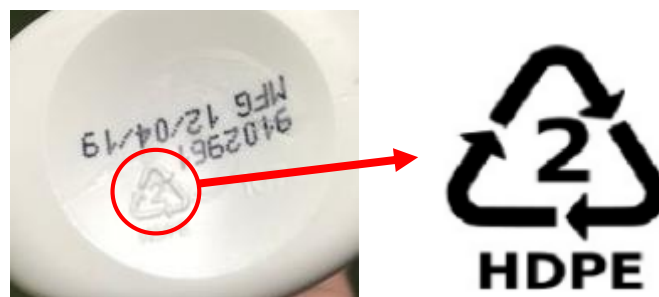
Sifat polimer juga bergantung pada strukturnya dari masing-masing molekul polimer, ukuran dan bentuk, serta susunan molekul untuk membentuk sebuah struktur polimer. Molekul polimer dikarakteristikan dengan ukuran yang besar, dan variasi yang paling membedakan dari yang lainnya adalah komposisi kimianya.



Gambar 2. 5 Molekul struktur polietilen [8]

Pada Gambar 2.5 merupakan molekul dari struktur polimer jenis polietilen. Pengklasifikasian polietilen biasanya didasarkan pada densitas dan viskositas pelelehan atau indeks pelelehan sehingga menghasilkan beberapa jenis dari polietilen berdasarkan densitas dan viskositas lelehannya, yaitu *High Density Polyethylene* (HDPE), *Low Density Polyethylene* (LDPE), dan *Linear Low Density Polyethylene* (LLDPE).

2.4 *High Density Polyethylene* (HDPE)



Gambar 2. 6 Simbol HDPE [11]

Pada Gambar 2.6 merupakan simbol dari jenis plastik HDPE dengan angka 2. HDPE (*High Density Polyethylene*) merupakan polimer *thermoplastic* linear yang tersusun oleh *monomer etilen* dengan metode katalitik. HDPE memiliki struktur cabang yang minim sehingga strukturnya lebih rapat atau padat. HDPE memiliki densitas yang lebih tinggi dan mempunyai sifat tahan terhadap zat kimia yang lebih baik dibandingkan LDPE. HDPE juga memiliki kekuatan dan ketahanan terhadap panas yang lebih baik. Untuk pembuatan 1 kg HDPE dibutuhkan 1,75 kg minyak bumi sebagai energi dan bahan baku.

Jenis plastik HDPE lebih banyak diteliti karena memiliki beberapa kelebihan, mudah untuk ditemukan di kehidupan sehari-hari, serta memiliki kestabilan polietilen yang terbaik dibandingkan jenis polietilen yang lainnya.

Tabel 2. 1 Karakteristik HDPE

Nama	Keterangan
Nama kimia	<i>High Density Polyethylene</i>
<i>Trade Name</i>	HDPE
Sinonim	<i>Polyethylene</i>
Rumus Molekul	$(C_2H_4)_n$
Fisik	Padat
Melting Point	90°C - 137°C / 200°C – 280°C
<i>Spesific Gravity at 20°C</i>	0,94 – 0,958
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	24,30 MPa - 28,275 MPa

Sumber: [11]

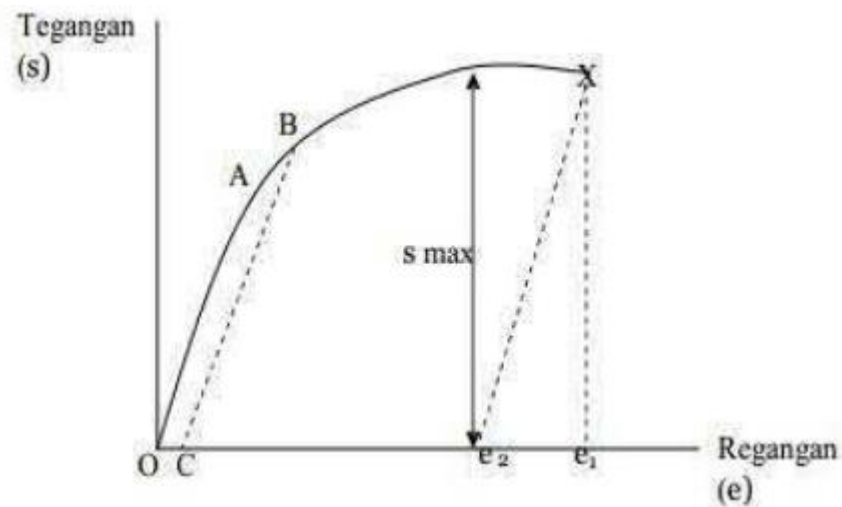
Pada tabel 2.1 merupakan karakteristik dari plastik jenis HDPE. Plastik dengan simbol angka 2 HDPE ini biasanya dipadukan dengan zat aditif yang berfungsi sebagai *filler*, pewarna, antioksidan, penyerap sinar UV, anti lengket dan lain-lain. Zat aditif tersebut juga bisa memperbaiki sifat-sifat HDPE dan zat tersebut berupa molekul yang rendah. Botol pelumas (oli), botol susu yang berwarna putih, botol sampo, botol sabun cair dan lain-lain merupakan plastik HDPE dengan densitas 950 kg/m³.

2.5 Uji Tarik

Pengujian suatu produk atau bahan ditujukan untuk mendapatkan kepastian tentang sifat-sifat dan kekuatan suatu produk atau bahan tersebut. Pengujian juga bisa digunakan untuk mengetahui seberapa layak suatu bahan atau produk untuk bisa digunakan dalam hal tertentu.

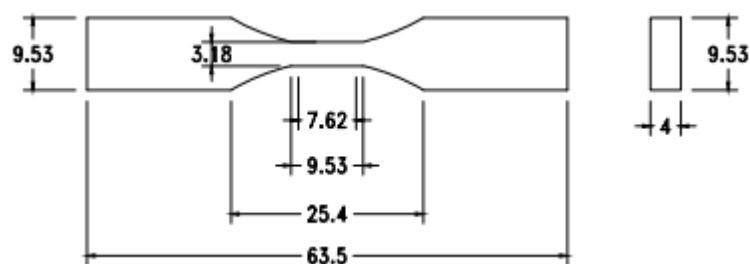
Uji tarik merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan atau produk dengan cara menarik suatu spesimen sampai putus dengan laju yang lambat. Hasil yang diperoleh dari pengujian tarik penting dalam rekayasa teknik dan desain produk karena dari pengujian ini kita mengetahui dan memperoleh data kekuatan dari material yang di uji. Sifat mekanik dari pengujian tarik ini berupa kekuatan dan elastisitas dari spesimen tersebut. Pengujian tarik biasanya dilakukan untuk memenuhi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan atau produk dan sebagai data pendukung

untuk spesifikasi bahan. Nilai kekuatan dan elastisitas dari material uji dapat dilihat dari kurva tegangan dan regangan.



Gambar 2. 7 Kurva tegangan-regangan [12]

Pada Gambar 2.7 merupakan kurva antara tegangan dan regangan pada hasil pengujian tarik. Uji tarik pada industri manufaktur digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik dari logam atau plastik yang digunakan untuk perencanaan produksi sebuah benda yang dapat diperkirakan berapa faktor keamanan yang dicapai dari bahan yang diuji. Perilaku hasil suatu material ditentukan dari hubungan tegangan regangan di bawah keadaan tegangan yang diterapkan seperti tarik, tekan, dan geser. Prinsip dasar pengujian tarik adalah sampel uji diberi beban atau gaya tarik pada satu arah dan gaya yang diberikan bertambah besar secara kontinyu. Pada saat bersamaan, sampel akan bertambah panjang dengan bertambahnya gaya yang diberikan sampai mengalami putus. Pengujian tarik ini mengikuti standar uji tarik plastik ASTM D 638 – 03 seperti pada Gambar 2.8. [13]



Gambar 2. 8 Bentuk dan ukuran spesimen uji

a. Tegangan

Tegangan adalah besarnya gaya yang diberikan oleh molekul-molekul terhadap luasan penampang.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

Keterangan:

F = Beban yang diberikan (N)

A = Luas Permukaan (m^2)

σ = Tegangan (N/m^2)

Sifat kuat tarik suatu material metal maupun komposit merupakan kekuatan untuk mengatasi gaya tarik persatuan luas permukaan yang diterima seperti rumus yang diatas.

b. Regangan

Regangan adalah pertambahan panjang suatu benda terhadap panjang mula-mula yang disebabkan oleh adanya gaya luar yang mempengaruhi benda.

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (2.2)$$

Keterangan:

ε = Regangan

l = Panjang akhir benda (mm)

l_0 = Panjang awal benda (mm)

Perubahan panjang atau perubahan ukuran benda dari tegangan pada suatu sistem akan menyebabkan terjadinya regangan seperti rumus diatas.

2.6 Makro Struktur

Analisis makro struktur merupakan suatu analisis tentang struktur suatu logam atau benda lainnya yang akan diuji melalui perbesaran dengan menggunakan mikroskop khusus. Dengan menganalisa makro struktur, kita mampu mengamati besar butir kristal, warna dan porositas pada suatu spesimen dari struktur makro spesimen tersebut. Struktur makro dari spesimen bisa diubah dengan memberikan perlakuan panas atau dengan proses perubahan bentuk

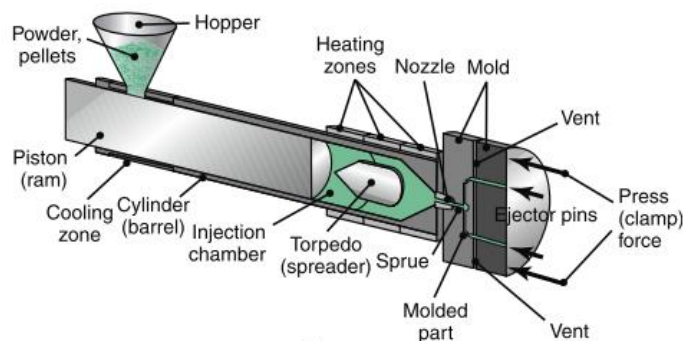
(deformasi) dari spesimen yang akan diuji. Alat yang digunakan untuk mengamati struktur makro seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Trinocular metalurgical microscope

2.7 Injection Molding

Injection Molding mirip dengan *hot chamber die casting* seperti pada Gambar 2.10. *Injection molding* bekerja dengan cara memasukkan butiran atau cacahan plastik ke dalam *tube* yang dipanaskan, dan lelehan didorong menggunakan *plunger* ke dalam cetakan. Seperti pada alat *extrusion plastic*, silinder dipanaskan secara *external* yang kemudian lelehan polimer tersebut didorong menggunakan putaran *screw*. Tetapi dalam mesin *injection plastic* sebagian besar panasnya bersumber dari gesekan yang kemudian diteruskan ke polimer. Beberapa produk hasil mesin *injection molding* bisa berupa cangkir, wadah, gagang perkakas, mainan komponen peralatan listrik dan lain-lain.



Gambar 2. 10 Skema *injection molding with a plunger* [8]

Injection molding biasanya berbentuk horizontal, namun terdapat pula yang berbentuk vertikal. Mesin *Injection Molding* vertikal biasanya untuk penggunaan produk yang memiliki ukuran relative kecil. Penjepit pada cetakan umumnya menggunakan sistem hidrolik, namun disesuaikan dengan kebutuhan dan keadaan. *Injection Molding* yang modern biasanya dilengkapi dengan mikroprosesor pada panel kontrol sehingga mampu memantau semua aspek operasi. [8]

Pada alat *Injection Molding* terdapat komponen utama beserta bagian-bagiannya, yaitu:

a. *Injection Unit*

Injection unit merupakan bagian yang berfungsi untuk melelehkan dan memasukkan material plastik ke dalam sebuah cetakan. *Injection unit* terdiri dari beberapa bagian, yaitu: [14]

1. *Hopper*

Hopper merupakan tempat awal untuk menempatkan material cacahan plastik sebelum masuk ke *tube*. *Hopper* yang biasanya digunakan untuk menjaga kelembapan material cacahan plastik memiliki desain *hopper* yang berbeda seperti ditambahkan *blower*. Hal tersebut dilakukan untuk menghilangkan air atau kelembapan pada material cacahan plastik yang jika terdapat air pada material cacahan plastik akan menyebabkan hasil produk yang tidak sempurna.

2. *Tube*

Tube merupakan tempat proses pemanasan dan pelelehan bahan cacahan plastik dan akan diinjeksikan menggunakan *plunger* sehingga melewati *nozzle* dan akan memenuhi ke dalam bentuk cetakan (*mold*).

3. *Plunger*

Plunger merupakan bagian yang akan menekan dan mendorong bahan cacahan plastik yang sudah meleleh. Penekanan *plunger* dibantu oleh tenaga manusia dan penekanan *plunger* selama pemanasan akan menyebabkan bahan cacahan plastik akan terkumpul di ujung *tube* dan tertahan oleh *filter* dari *nozzle*.

4. *Heater*

Heater atau pemanas merupakan komponen untuk melelehkan butiran atau cacahan plastik yang berada pada *tube*. Suhu *heater* disesuaikan dengan titik leleh jenis plastik yang akan dilelehkan.

b. *Clamping Unit*

Clamping Unit merupakan tempat cetakan (*mold*) diletakkan, membuka dan menutup cetakan (*mold*) yang sudah dibentuk bersamaan dengan *nozzle*. Cetakan (*mold*) merupakan tempat terbentuknya produk dari lelehan plastik yang telah dipanaskan di dalam *tube* dan memenuhi ruang cetakan yang telah dibentuk.

2.8 Parameter Proses *Injection Molding*

Untuk memperoleh produk dengan kualitas hasil yang cukup optimal perlu adanya parameter yang mempengaruhi jalannya proses *injection molding* tersebut. Parameter pada suatu proses produksi akan berpengaruh secara signifikan pada hasil produksi yang dibutuhkan. Biasanya peneliti perlu melakukan beberapa kali percobaan agar mendapatkan parameter apa saja yang sesuai dan berpengaruh terhadap produk akhir. Adapun parameter yang berpengaruh pada proses produksi dengan alat *plastic Injection Molding*, yaitu: [15]

a. *Diameter Nozzle*

Diameter *nozzle* dapat mempengaruhi waktu penekanan ketika melaksanakan proses *injection molding*. Secara umum, semakin kecil diameter *nozzle* maka waktu penekanan akan semakin lama. Begitu juga sebaliknya, semakin besar diameter *nozzle* maka waktu penekanan akan semakin cepat.

b. *Dwelling Time*

Dwelling time merupakan waktu tunggu setelah dilakukan penekanan pada lelehan plastik ke dalam cetakan. *Dwelling time* akan berpengaruh pada kecacatan produk. Semakin cepat waktu tunggu maka terjadinya kecacatan *Warpage* akan meningkat. Namun jika waktu tunggu semakin tinggi atau lama, maka proses tersebut tidak efisien. Oleh karena itu, perlu waktu

tunggu yang tepat agar kecacatan meminimalisir dan memiliki efisiensi waktu.

c. Temperatur Pencetakan

Pada temperatur pencetakan ini mengalami pemanasan secara konduksi, konveksi dan radiasi. Dimana pemanasan konduksi terjadi pada *tube* yang dipanaskan melalui *heater* yang kemudian merambat ke seluruh *tube*. Sedangkan pemanasan secara konveksi terjadi ketika *heater* memanaskan *tube* yang kemudian panas tersebut ditransfer ke butiran plastik yang berada di dalam *tube* yang akan meleleh dan mengalami penurunan massa jenis. Dan pemanasan secara radiasi terjadi antara *heater* dengan para pengguna alat *Injection Molding*.

Temperatur pencetakan akan disesuaikan dengan titik leleh pada jenis plastik yang akan di daur ulang. Temperatur *heater* akan berpengaruh pada *viskositas* dari lelehan plastik. Semakin tinggi temperatur *heater*, maka *viskositas* lelehan plastik akan semakin rendah (*cair*). Sebaliknya, semakin rendah temperatur *heater*, maka *viskositas* akan semakin tinggi. Jika lelehan plastik memiliki *viskositas* yang rendah maka akan merusak struktur dari plastik tersebut.

2.9 Jenis-jenis Cacat Produk *Injection Molding*

Karakter utama dari standar kualitas produk pada alat *Injection Molding* yaitu kualitas akhir permukaan dari produk plastik tersebut. Namun keadaan ini terkadang tidak dapat dipenuhi dengan terdapat cacat pada produk yang dapat merusak penampilan produk. Cacat produk dapat ditimbulkan oleh berbagai faktor, baik yang bersumber pada faktor parameter proses maupun faktor desain. Macam-macam cacat pada proses *injection molding* yaitu: [16]

a. *Short Shot*

Short-shot adalah cacat produk akibat pengisian yang tidak sempurna seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11. Cacat *short-shot* ini disebabkan oleh beberapa hal antara lain pelelehan bijih plastik yang tidak sempurna, injeksi yang lambat, tekanan injeksi yang lemah, dan temperatur mold rendah. Cacat *short-shot* ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 11 Cacat *short-shot*

b. *Warpage*

Warpage adalah kondisi cacat produk yang terlihat sebagai permukaan yang melengkung seperti pada gambar 2.12. Hal ini disebabkan oleh pendinginan cetakan tidak seragam, perbedaan temperatur yang tinggi di sebagian cetakan, dan holding pressure rendah. Cacat *Warpage* ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 12 Cacat *warpage*

c. *Shrinkage*

Cacat *Shrinkage* merupakan perbedaan dimensi yang terjadi pada hasil produk dengan cetakan yang salah satunya disebabkan oleh waktu penekanan atau waktu tunggu yang singkat. Cacat *Shrinkage* bisa

diminimalisir dengan memperhatikan parameter proses yang tepat dan benar. Cacat *shrinkage* ditunjukkan pada Gambar 2.13. [17]



Gambar 2. 13 Cacat *shrinkage*

c. *Flashing*

Cacat *Flashing* adalah jenis cacat kecil pada material artinya material masih dapat dikatakan bagus dan memenuhi syarat produk tetapi harus dilakukan pembersihan pada produk. *Flashing* sendiri berarti terdapat material lebih yang ikut membeku di daerah pinggir produk. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Cacat *flashing*

2.10 Penelitian Sebelumnya

Penelitian terdahulu ini menjadi salah satu acuan penulis dalam melakukan penelitian sehingga penulis dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan. Penelitian terdahulu berupa jurnal terkait dengan penelitian yang dilakukan penulis.

Penulis	Judul	Kesimpulan
Dwi, Joko (2015)	Analisis Pengaruh Waktu Tahan Terhadap Cacat <i>Warpage</i> Pada Proses Injeksi Plastik Bahan <i>Polypropylene</i> (PP).	Penelitiannya bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter waktu tahan proses injeksi plastik terhadap cacat <i>Warpage</i> . Variasi waktu tahan yang dilakukan yaitu 5 detik, 7,5 detik, 10 detik, 12,5 detik, dan 15 detik. Dari variasi tersebut yang memiliki waktu tahan optimal yaitu pada waktu tahan 12,5 detik. Maka dari penelitian tersebut menyatakan bahwa waktu tahan berpengaruh pada kualitas produk dan semakin lama waktu tahan maka kecacatan <i>Warpage</i> akan berkurang. [18]
Arif Ferdy, dkk (2014)	Pengaruh Temperatur Dan Waktu Tahan Komposit Serat Ijuk Matrik <i>Polypropylene</i> Terhadap Sifat Mekanik Pada Proses <i>Injection Molding</i> .	Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui temperatur dan waktu tahan yang terbaik untuk material komposit serat ijuk. Penelitian tersebut menggunakan variasi

		temperatur yaitu, 180°C, 190°C, dan 200°C. Sedangkan variasi waktu tahan yaitu 5 detik, 10 detik, dan 15 detik. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa temperatur dan waktu tahan akan berpengaruh pada kekuatan dari hasil injeksi. [4]
Anwar, M (2015)	Analisa Pengaruh Parameter Tekanan Terhadap Cacat <i>Warpage</i> Dari Produk <i>Injection Molding</i> Berbahan <i>Polypropylene</i> (PP).	Penelitian tersebut bertujuan meneliti pengaruh tekanan terhadap cacat <i>Warpage</i> pada hasil produk <i>injection molding</i>. Dari variasi tekanan 6,37 kg/cm², 12.74 kg/cm², 19.11 kg/cm², 25.48 kg/cm² dan 31.85 kg/cm² didapatkan tekanan yang optimal yaitu 19.11 kg/cm² dengan kecacatan yang paling minim. Dari penelitian tersebut bisa dikatakan tekanan akan mempengaruhi kecacatan produk. [19]