

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 *Injection Molding*

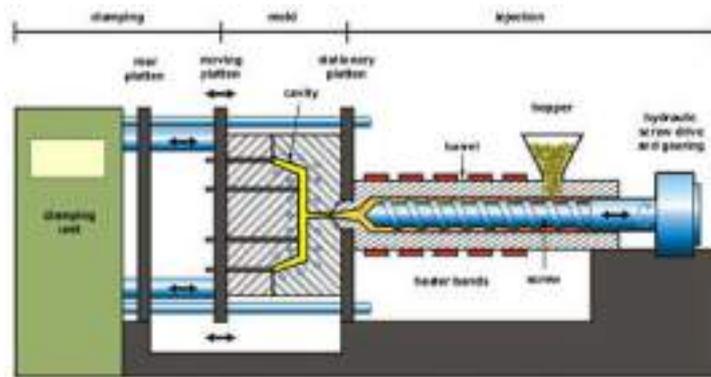
Dalam buku yang berjudul “*Handbook of Plastic Process*” (Harper, 2006) *plastic molding* adalah salah satu proses yang paling sering digunakan untuk mencetak produk plastik.



Gambar 2.1 Mesin *Injection Molding*

Prinsip dasar proses injeksi untuk material thermoplastik adalah melunakan material, lalu dibentuk menggunakan sebuah cetakan yang disebut  *mold*, proses ini mengambil waktu, tekanan, mekanik dan waktu, lalu kemudian produk dikeluarkan dari cetakan.

### 2.1.1 Bagian-bagian Mesin *Injection Molding*



Gambar 2.2 Bagian-bagian *Injection Plastik Process*

(Nasution, 2016)

Terdapat 3 bagian penting yang sangat mendukung proses dari *injection molding* yaitu unit injeksi, *molding unit*, *clamping unit*.

#### 1. *Unit injeksi*

Salah satu bagian dari mesin pembuatan injeksi adalah unit injeksi, yang mana digunakan untuk melelehkan material plastik. Biji plastik (*granule*) masuk kedalam *hopper* dan masuk ke dalam tungku pemanas. Didalam tungku, material plastik dipanaskan menggunakan pemanas *heater* pada suhu yang sesuai dengan *melting point material*. Plastik tidak hanya meleleh tapi juga mengalami proses pencampuran, yang dilakukan dengan menggunakan kunci dan media tekan.

#### 2. *Molding unit*

Salah satu bagian dari *injection unit* adalah *mold unit*, dimana material yang telah dilelehkan dibentuk sesuai dengan cetakan. Unit ini memiliki

komponen yang berfungsi sebagai peralatan untuk membantu sistem cetak.



Gambar 2.3 Bentuk *Mold Inject Color Chip*

### 3. *Clamping unit*

*Clamping unit* adalah bagian dalam mesin cetakan injeksi yang terdiri dari mesin cetakan, *dwelling* untuk memastikan *mold* terisi penuh oleh plastik yang telah meleleh, *injection* untuk memasukkan plastik melalui *sprue* pendingin, dan *ejector* untuk mengeluarkan benda kerja dalam cetakan (Sunaryo, 2015)

#### 2.1.2 Cacat Pada Proses *Injection Molding*

Produk plastik yang dibuat melalui proses *injection molding* berpotensi memiliki cacat. Cacat juga dikenal sebagai *deffect* adalah kerusakan yang disebabkan oleh kesalahan dalam parameter atau prosedur produksi dalam proses *injection molding* yang dapat menyebabkan produk tidak sempurna.

Beberapa cacat produk yang sering terjadi selama proses pembuatan *injection molding* adalah (Tokoplas, 2021):

1. *Flow lines*

Jika pola bergelombang ditemukan pada bagian produk yang cekung atau sempit, kecacatan tersebut dikenal sebagai *Flow lines*. Dalam kebanyakan kasus, *flow lines* memiliki warna yang sedikit berbeda dari lingkungan sekitarnya. Ada beberapa sebab yang menyebabkan terjadinya *Flow Lines* diantaranya adalah :

- a. *Temperature mold* dan material yang rendah.
- b. Kurangnya tekanan dan kecepatan injeksi.
- c. Kecepatan pendinginan material yang tidak konsisten

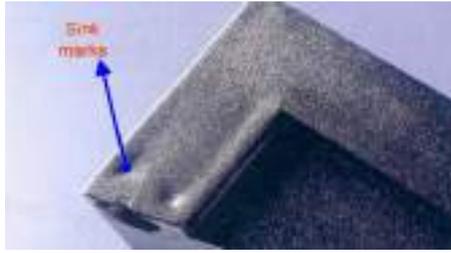


Gambar 2.4 Cacat *Flow Lines* (Tokoplas, 2021)

2. *Sink mark*

*Sink mark* terjadi ketika bagian yang dicetak rusak dan meninggalkan garis pada produk. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan *sink mark* adalah:

- a.  *Holding* dan *injection pressure* yang terlalu rendah
- b. Waktu *cooling* atau waktu dan tekanan *hold* yang terlalu rendah
- c. *Temperature* leleh yan terlalu tinggi



Gambar 2.5 Cacat *Sink Mark* (Tokoplas, 2021)

### 3. *Warpage*

*Warpage* adalah cacat yang disebabkan oleh penyusutan produk yang tidak merata, yang menyebabkan produk memiliki dimensi yang tidak sesuai. Cacat *warpage* juga menyebabkan sisi produk melengkung, yang mengubah dimensi, ketebalan, dan bentuknya. Faktor-faktor yang mempengaruhi cacat *warpage* diantaranya

- a. Adanya perbedaan antara *shrinkage* dan *cooling time* dari hasil distribusi *temperature mold*.
- b. *Injection pressure* terlalu rendah atau terlalu tinggi.
- c. *Cooling* terlalu pendek
- d. Pengaturan *clamping force* yang tidak ideal
- e. Kurangnya kekakuan *structural* pada produk dan aliran



Gambar 2.6 Cacat *Warpage* (Prabowo, 2016)

#### 4. *Discoloration*

Ketika warna produk *injection molding* tidak seperti yang di inginkan, itu dinamakan sebagai *discoloration*. Kesalahan ini biasanya terjadi di beberapa bagian produk. Kecacatan yang disebabkan oleh *discoloration* ini akan tetap mempengaruhi kualitas aspek estetika produk, meskipun tidak mempengaruhi kekuatan produk. Ketidaksesuaian warna dapat disebabkan oleh:

- a. *Residu palet plastic* yang tertinggal di *hopper* atau *nossle*
- b. *Stabilitas termal colorant* yang kurang sesuai
- c. Pencampuran *masterbatch* yang kurang

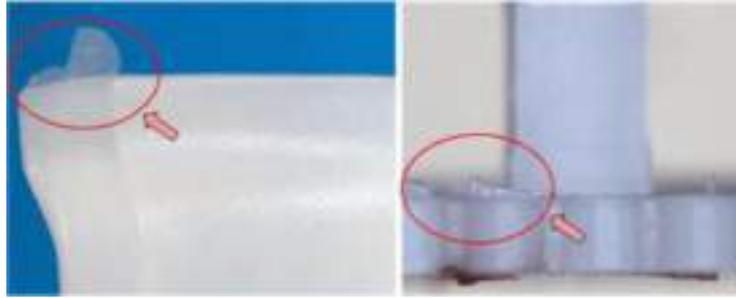


Gambar 2.7 Cacat *Discoloration* (Tokoplas, 2021)

#### 5. *Flash*

Ketika material masuk ke ujung atau sudut produk plat yang dicetak, itu dapat disebut *Flash*. Hal ini dapat terjadi biasanya karena material mengalir keluar dari cetakan. Berikut ini adalah beberapa penyebab *flash*:

- a. Desain *modal* yang kurang tepat.
- b. *Mold* yang rusak.
- c. Tekanan *clamping* yang kurang tepat.



Gambar 2.8 Cacat *Flash* (Tokoplas, 2021)

6. *Short shot*

*Short shot* muncul ketika material tidak mengalir sepenuhnya untuk memenuhi rongga  *mold*. Sehingga komponen yang dicetak keluar tidak lengkap setelah proses pendinginan. *Short shot* dapat dipengaruhi oleh faktor berikut ini :

- a. Material dengan viskositas yang tinggi
- b. Penggunaan  *mold* dalam kondisi dingin sehingga menghambat aliran material.
- c. Kantung udara di dalam  *mold*.
- d. Pengaplikasian tekanan  *injection* yang kurang tepat.



Gambar 2.9 Cacat Short-short (Tokoplas, 2021)

## 2.2 Plastik

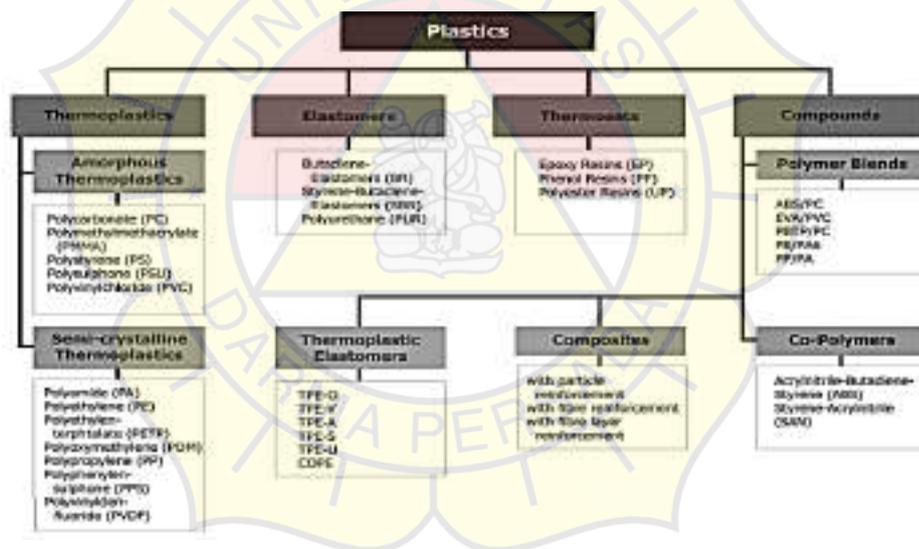
Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer) melalui reaksi kimia. Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang terbentuk melalui proses ini. Plastik adalah polimer yang terdiri dari karbon dan hydrogen. Naptha, adalah bahan baku yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Untuk membentuk satu kilogram plastik, diperlukan 1,75 kilogram minyak bumi untuk memenuhi kebutuhan bahan baku dan energi prosesnya. (Kumar, 2011)

Saat ini, enam jenis polimer yang paling umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah *polietilen*, *poliropilen*, *polivinil klorida*, *polietilen terephthalate*, *polystyrene*, dan *polycarbonate*. Enam komoditas polimer ini membentuk sekitar 98% polimer dan plastik yang ditemukan dalam kehidupan sehari-hari (H & Arnata, 2015). Masing masing dari polimer tersebut memiliki karakteristik yang unik. Karakteristik umum plastik, yaitu:

1. Memiliki kemampuan cetak yang baik
2. Ringan
3. Beberapa material plastik memiliki ketahanan terhadap air dan zat kimia yang baik
4. Pada umumnya lebih murah daripada material lain
5. Dapat dijadikan isolator yang baik
6. Memiliki ketahanan panas yang lebih rendah daripada material-material lain.

7. Kurang tahan terhadap pelarut
8. Beberapa jenis memiliki koefisien gesek yang kecil.

Plastik biasanya diklasifikasikan menjadi dua kategori: *thermosetting*, juga dikenal sebagai *thermoset*, dan *thermoplastic*. Termoplastik adalah jenis plastik yang memiliki karakteristik keras yang dapat mempertahankan bentuknya dan tidak dapat diubah kembali jika dipanaskan sampai suhu tertentu. Contoh dari termoplastik adalah *polietilen (PE)*, *polypropylene (PP)*, dan *polyvinyl chloride (PVC)*. Elastomer adalah jenis plastik yang tidak dapat cair yang memiliki elastisitas yang lembut (Klein, 2011). Pembagian jenis plastik dapat dilihat pada diagram dibawah ini:



Gambar 2.10 Pembagian Jenis Plastik (Klein, 2011)

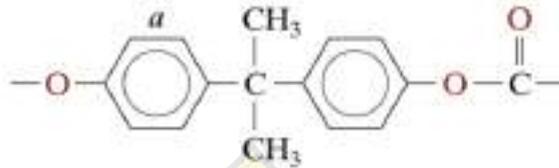
### 2.2.1 Bahan Baku Material Plastik

#### 1. *Polycarbonate (PC)*

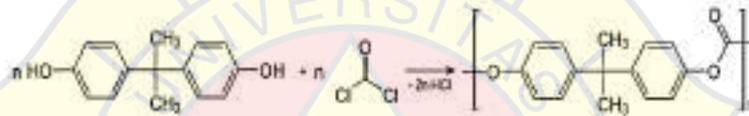
*polycarbonae* atau polikarbonat ditemukan pertama kali di amerika serikat dan jerman pada tahun 1953. Daniel W.Fox, seorang ilmuwan *General Electric*,

menemukan polikarbonat saat melapisi kabel dan setelah beberapa hari lapisan menjadi keras dan tembus pandang (Brydson, 1982). Polikarbonat adalah *engineering plastic* yang dibuat dari reaksi kondensasi bisphenol A dengan fosgen (*phosgene*) dalam media alkali. Polikarbonat memiliki *Repeating Unit* seperti pada

**Gambar 2.11**

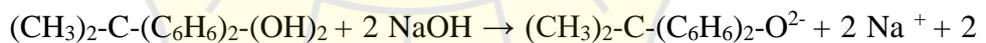


Gambar 2.11 Monomer Polikarbonat (Callister & Rethwisch, 2018)



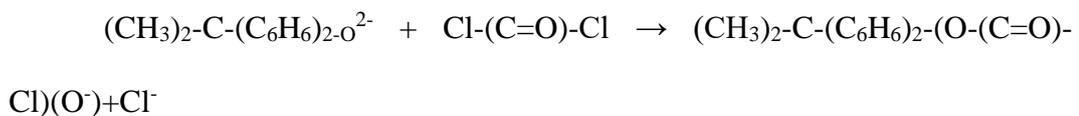
Gambar 2.12 Reaksi Biespol A dan Fosgen COCl<sub>2</sub> (Brydson, 1982)

Proses deprotonisasi bisfol A dengan natrium hidroksida adalah langkah pertama dalam sintesis polycarbonate. Hal ini menghasilkan pembentukan air. Berikut ini adalah hasil dari reaksinya:



H<sub>2</sub>O

Melalui adisi karbonil pada bisfol yang terdeprotonisasi, molekul oksigen bereaksi dengan fosgen dan menghasilkan ion klorida. Reaksi ini digambarkan sebagai berikut:



Lalu gugus kloroformat (O-(C=O)-Cl) yang terbentuk menempel pada gugus bisfenol yang lainnya sehingga rantai panjang polikarbonat terbentuk dan meninggalkan ion  $Cl^-$ .

Sifat dari polikarbonat diantaranya adalah: jernih seperti air, *impact strengthnya* sangat bagus, ketahanan terhadap pengaruh cuaca bagus, suhu penggunaan tinggi, mudah diproses, flameabilitasnya rendah. Untuk menghasilkan produk-produknya melalui proses dengan teknik pengolahan termoplastik pada umumnya, yaitu: cetak injeksi, ekstruksi, cetak tiup, dan *structural foam molding*. *Sheet* polikarbonat dapat diproses dengan tehnik *thermoforming* menggunakan tekanan maupun vakum. *PC* juga dapat dikenai proses *finishing* meliputi pelarut dan *adhesive bonding*, pengecatan, *printing*, *hot-stamping*, *ultrasonic welding*, dll.

Penggunaan polikarbonat (*PC*) di berbagai sektor sangat luas, diantaranya adalah:

- a. Dalam industri otomotif, plastik "*grade opaque*" digunakan untuk rumah lampu dan komponen elektrik, dan plastik "*glass reinrefirs*" dan plastik "*glass reinforced grade*" digunakan untuk *grill*.
- b. Sektor makanan, *PC* digunakan untuk tempat minuman, mangkuk pengolahan makana, alat makan/minum, alat masak *microwave*, dan lainnya, terutama khususnya pada produk yang penggunaan materialnya memerlukan permukaan jernih.
- c. Bidang medis: *filter housing*, *tubing connector*, peralatan operasi yang harus di sterilisasi.
- d. perusahaan elektrik. *PC* digunakan untuk membuat konektor, pemutus arus,

tutup baterai, *'light concentrating panels'* untuk *display* kristal cair, dan banyak lagi.

- e. Alat/mesin bisnis. *PC* dapat digunakan untuk membuat banyak hal, seperti rumah dan komponen bagian dalam dari *printer*, mesin fotokopi, konektor telepon, dll.

## 2. *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*

*Acrylonitrile butadiene styrene* adalah *polimer thermoplastic* yang digunakan dalam industri mobil, elektronik, dan peralatan rumah tangga karena memiliki kekenyalan, kemampuan kejut, dan stabilitas dimensi yang tinggi. Ini membuatnya cocok untuk komponen bergerak (Zohari & Kusmono., 2013). Plastik *ABS* terdiri dari tiga monomer: *Acrylonitrile butadiene styrene* dimana *Acrylonitrile* memiliki kekuatan tinggi, stabilias terhadap panas, dan tahan terhadap kimia. Sifat dasar yang paling penting dari plastik abs adalah ketahanan terhadap *impac* dan ketangguhan yang tinggi (Mujiarto, 2005)

Ada beberapa grade *ABS* yang memiliki berbagai karakteristik, mulai dari kilap yang tinggi hingga ketahanan yang rendah. Dengan menambahkan aditif, anda dapat mendapatkan grade *ABS* yang transparan, tahan panas tinggi, tahan sinar *UV*, dan menghambat nyala api.

Beberapa sifat – sifat material *ABS* adalah:

- a. Tahan bahan kimia
- b. Liat, keras dan kaku
- c. Tahan terhadap korosi
- d. Dapat di desain menjadi berbagai bentuk

- e. Dapat direkatkan
- f. Dapat dilakukan proses *elektroplating*
- g. Memberi kilap permukaan yang baik

*ABS* dapat diproses dengan tehnik cetak injeksi, ekstrusi, *thermoforming*, cetak tiup, *moulding* dan cetak kompresi. *ABS* bersifat higroskopis, oleh karena itu harus dikeringkan dulu sebelum proses pelelehan.

### 3. *PC/ABS*

Polipaduan *polikarbonat/akrilonitril butadiena stirena (PC/ABS)* adalah teknik termoplastik penting yang banyak digunakan di industri mobil dan elektronika. *PC/ABS* menggabungkan sifat yang sangat baik dari dua bahan yaitu; *ABS* mudah dibentuk, dan *PC* memiliki sifat mekanik, ketahanan terhadap pengaruh, ketahanan panas, dan ketahanan terhadap sinar ultraviolet (UV) yang baik menghambat nyala api (Ho et al., 2015). Tabel dibawah adalah nilai kekuatan mekanik standar yang di publikasikan oleh perusahaan (Xometry, 2022).

Tabel 2.1 Sifat Mekanik PC ABS (Xometry, 2022)

| Mechanical Property | Test Method | Value (English/Metric) |
|---------------------|-------------|------------------------|
| Tensile Strength    | ASTM D638   | 5,900 psi/ 41 MPa      |
| Tensile Modulus     | ASTM D638   | 278 ksi/1.9 GPa        |
| Tensile Elongation  | ASTM D638   | 6%                     |
| Flexural Strength   | ASTM D790   | 9,800 psi/68 MPa       |
| Flexural Modulus    | ASTM D790   | 280 ksi/ 19 GPa        |

PC (Polikarbonat) memiliki beberapa kelemahan, termasuk harga yang tinggi, ketahanan terhadap pelarut yang rendah, kurang *prosesable*, dan sensitifitas tarikan yang rendah. Jika *ABS* digunakan sebagai bahan plastik untuk menggantikan logam di bidang seperti industri otomotif, bahan tersebut harus dimodifikasi untuk meningkatkan ketahanan pukulnya. Oleh karena itu, jika *ABS* digunakan sebagai bahan plastik yang memiliki ketahanan pukul yang tinggi, sifat-sifat terbaik dari *ABS* dan *PC* harus dicampur untuk menghasilkan campuran polipaduan *PC/ABS* yang dapat dikembangkan secara komersial.

4. NH 1090



Gambar 2.13 Material PC/ABS NH1090

Material *PC/ABS* memiliki beberapa *grade* yang biasanya berbeda tergantung dari produsen yang memproduksi material plastik, *Grade* suatu material *PC/ABS* memiliki karakteristik yang bervariasi, mulai dari kilap, tingkat elastisitas, ketahanan terhadap benturan, ketahanan panas dan lain sebagainya. Beberapa sifat lanjutan apabila material *PC/ABS* diberikan penambahan zat adiktif seperti tahan korosi, tahan kimia, tahan sinar UV dan tahan terhadap panas tinggi.

*INFINO*® adalah merek bahan termoplastik terkemuka milik perusahaan LOTTE Chemical. *INFINO*® di produksi dengan cara yang ramah lingkungan sehingga memiliki berbagai produk dengan stabilitas panas dan kemampuan mesin yang luar biasa. Material plastik resin *PC/ABS* type *INFINO PC/ABS* NH1090 memiliki sifat impact strength yang baik, mudah dilksuksn pemrosesan, material dapat di proses melalui proses melalui cetak injeksi dan eskrusi dengan menggunakan mesin cetak yang berstandar (Lotte Chemical, 2021)

**LOTTE CHEMICAL**

ASTM Property | ISO Property

**DATASHEET COMPARISON**  
**ISO Property**

| Item                               | Measuring Method | Condition                 | Unit              | Value   |
|------------------------------------|------------------|---------------------------|-------------------|---------|
| <b>Physical</b>                    |                  |                           |                   |         |
| Specific Gravity                   | ISO 1183         | Natural or representative | -                 | 1.18    |
| Melt Flow Index                    | ISO 1133         | 300°C, 10g                | g/10min           | 48      |
| Mold Shrinkage(MB)                 | ISO 294-4        | Flow at 20mm(MD)          | %                 | 0.4-0.7 |
| Mold Shrinkage(TD)                 | ISO 294-4        | Flow at 20mm(TD)          | %                 | 0.4-0.7 |
| <b>Mechanical</b>                  |                  |                           |                   |         |
| Tensile strength at Yield          | ISO 527          | 50mm/min                  | MPa               | 50      |
| Tensile Strain at break            | ISO 527          | 50mm/min                  | %                 | 58      |
| Tensile Modulus                    | ISO 527          | 50mm/min                  | MPa               | 2400    |
| Tensile strength at break          | ISO 527          | 50mm/min                  | MPa               | 65      |
| Flexural Strength                  | ISO 178          | 2.8mm/min                 | MPa               | 90      |
| Flexural Modulus                   | ISO 178          | 2.8mm/min                 | MPa               | 2600    |
| Izod Impact Strength (notched)     | ISO 180-1A       | at 23°C, 4m/s             | kJ/m <sup>2</sup> | 39      |
| Charpy Impact Strength (V-notched) | ISO 179-1eA      | at 23°C, 4m/s             | kJ/m <sup>2</sup> | 46      |
| Rockwell Hardness                  | ISO 2009-2       | R-scale                   | -                 | 118     |

| Thermal properties                      |          |                |    |     |
|---|----------|----------------|----|-----|
| Heat Deflection Temperature(Unannealed) | ISO 75-1 | 1.0MPa, 4.0mm  | °C | 82  |
| Heat Deflection Temperature(Unannealed) | ISO 75-1 | 0.45MPa, 4.0mm | °C | 93  |
| Heat Deflection Temperature(Annealing)  | ISO 75-1 | 1.0MPa, 4.0mm  | °C | 91  |
| Heat Deflection Temperature(Annealing)  | ISO 75-1 | 0.45MPa, 4.0mm | °C | 93  |
| VICAT softening temperature             | ISO 306  | B/11           | °C | 99  |
| VICAT softening temperature             | ISO 306  | B/120          | °C | 100 |

Gambar 2.14 ISO Property PC/ABS NH1090 (Lotte Chemical, 2021)

Dalam material PC/ABS NH1090 memiliki komposisi/bahan-bahan sebagai penyusun materialnya yaitu diantaranya Poly[oxycarbonyloxy-1,4-phenylene(1-methylethylidene)-1,4-phenylene] dengan kandungan isi lebih dari 75% hingga 85%, Phosphoric trichloride, reaction products with bisphenol A and phenol dengan kandungan isi lebih dari 10% hingga 20% dan ABS resin dengan kandungan isi 5% hingga 15%.

Tabel 2.2 Komposisi Material PC/ABS NH1090 (Lotte Chemical, 2021)

| Chemical name  | Common name   | CAS No.     | Content(wt%) |
|--|---|-------------|--------------|
| 2,2-Bis(4-hydroxyphenyl)propane polycarbonate                        | Poly[oxycarbonyloxy-1,4-phenylene(1-methylethylidene)-1,4-phenylene]  | 24936-68-3  | >=75 ~ <=85  |
| Phosphoric trichloride reaction products with bisphenol A and phenol | Phosphoric trichloride, reaction products with bisphenol A and phenol | 181028-79-5 | >=10 ~ <=20  |
| polymer with 1,3-butadiene and ethenylbenzene                        | ABS Resin   | 9003-56-9   | >=5 ~ <=15   |

### 2.3 Sifat Thermal Material Plastik

Sifat-sifat thermal yang penting adalah titik lebur ( $T_m$ ), temperatur transisi ( $T_g$ ) dan temperatur dekomposisi. Untuk pengertiannya adalah sebagai berikut :

1. Temperatur transisi : adalah suhu dimana plastik menjadi lebih fleksibel karena peregangan strukturnya
2. Temperatur lebur : adalah suhu dimana plastik mulai meleleh dan akan berubah menjadi cair
3. Temperatur dekomposisi : merupakan batasan dari proses pencairan. Jika suhu dinaikkan di atas temperatur lebur, plastik akan mudah mengalir dan struktur akan mengalami dekomposisi. (Budiyantoro, 2010)

Tabel berikut menunjukkan data sifat termal penting untuk proses daur ulang plastik:

Tabel 2.3 Data Temperatur Transisi dan Temperatur Lebur Plastik  
(Budiyantoro, 2010)

| Jenis Bahan | $T_m$ (°C) | $T_g$ (°C) | Temperatur Dekomposisi (°C) |
|-------------|------------|------------|-----------------------------|
| PP          | 168        | 3          | 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                          |

## 2.4 Daur Ulang

Daur ulang adalah metode pembuatan kembali dari bahan yang telah digunakan sebelumnya karena mengalami gagal produk (*reject*) atau tidak sesuai dengan standar produk (*NG*). Tujuan daur ulang adalah untuk mengurangi penggunaan bahan baku baru, mengurangi polusi, dan menghemat tenaga. Dalam proses pengolahan, daur ulang dapat dilakukan melalui tiga proses yaitu: perajangan (*crusher*), peleburan (*melting*), dan pembentukan kembali (*foarming*).



Gambar 2.15 Mesin Perajang (*Crusher*)

### 2.4.1 Pengertian Material Plastik Daur Ulang

Proses daur ulang sampah plastik dapat dilakukan dalam empat cara diantaranya daur ulang primer, daur ulang sekunder, daur ulang tersier, dan daur ulang quarter. Daur ulang primer menghasilkan produk yang hampir identik dengan produk aslinya, sedangkan daur ulang tersier hanya dapat dilakukan pada sampah plastik yang tidak terkontaminasi dengan bahan lain. Produk yang didaur ulang dari sampah menjadi bahan kimia atau bahan bakar dibuat dengan kualitas yang lebih

rendah daripada produk asli. Daur ulang quarter adalah proses menghasilkan energi dari sampah plastik. (Kumar, 2011)

Secara umum, sebuah industri tidak dapat memproses sampah plastik jika tidak memenuhi empat kondisi berikut: (Gunawan, 2007)

1. Sampah plastik harus berbentuk tertentu.
2. Harus homogen.
3. Tidak terkontaminasi oleh zat-zat kimia yang dihasilkan.
4. Diupayakan untuk menghindari teroksidasi.

Untuk mengubah limbah plastik menjadi biji plastik, ada beberapa langkah yang harus dilakukan :

1. Penyortiran atau pemilahan dari benda lain selain material serta pembersihan dari kotoran.
2. Tahap pencacahan menggunakan mesin crusher.
3. Tahap pencucian dan pengeringan: plastik yang dihasilkan dari cacahan harus dicuci untuk menghilangkan yang dapat mengurangi kualitas material daur ulang.
4. Hasil cacahan material plastik yang sudah bersih lalu di cetak ulang menjadi biji plastik.
5. Biji plastik hasil daur ulang siap untuk digunakan kembali.

#### **2.4.2 Klasifikasi Daur Ulang Material PC/ABS NH1090**

Daur ulang (*recycle*) material PC/ABS NH1090 adalah pengolahan dari produk pencetakan material *PC/ABS virgin*, yang sebelumnya pada proses

perakitan produk telah mengalami perlakuan panas menggunakan oven dengan suhu 100°C sebanyak 3 kali dalam waktu 5 menit. Pada saat produksi, produk tidak memenuhi spesifikasi yang di tentukan sehingga produk dari *PC/ABS virgin* dikategorikan dalam produk *reject* atau *NG*

Produk *reject (NG)* kemudian di lakukan pencacahan menggunakan mesin *crusher*, hasil pencacahan lalu dibersihkan dari kotoran dan minyak, material cacahan harus dipastikan dalam keadaan kering sebelum di cetak ulang menjadi biji plastik

## 2.5 Uji Tarik (*Tensile test*)

Uji tarik adalah pengujian material untuk mengetahui sifat mekanisnya. Tujuan uji ini adalah untuk mengetahui seberapa besar kekuatan tarik spesimen terhadapnya dan seberapa panjang spesimen menjadi panjang setelah menerima pembebanan yang sama pada kedua sumbunya. (Wicaksono, 2019)



Gambar 2.16 Alat Uji Tarik

Menurut hukum Hooke, daerah linier adalah hubungan perbandingan lurus antara besarnya gaya yang diperoleh dan perbedaan panjang spesimen setelah uji

tarik. Nilai tegangan dan regangan dapat dibandingkan untuk mendapatkan nilai tetap. Rumus untuk pengujian tarik adalah sebagai berikut:

1. Tegangan tarik ( $\sigma$ )

Tegangan tarik dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan:

$\sigma$  = Tegangan tarik (MPa)

F = Beban tarik maksimum (N)

A = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

- a. Tegangan tarik ( $\sigma$ ) : Tegangan akibat gaya tarik.
- b. Tegangan geser ( $\tau$ ) : Tegangan akibat gaya geser.

2. Regangan

Besar regangan tarik diperoleh dengan membagi panjang batang (*gauge length*) dengan perpanjangannya. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung besar regangan tarik.:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0} \dots\dots\dots(2.2)$$

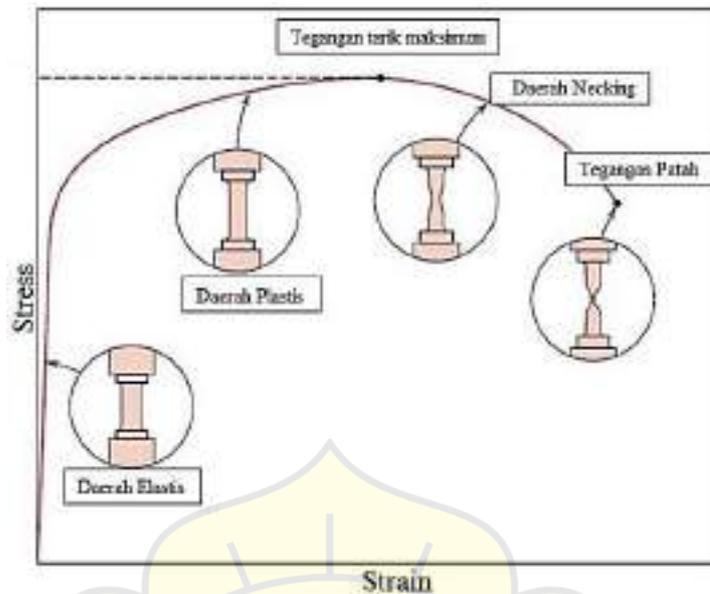
Keterangan:

$\varepsilon$  = Regangan (mm)

$\Delta L_0$  = Perubahan panjang keseluruhan (mm)

$L_0$  = Panjang awal (mm)

Diagram berikut menunjukkan hubungan antara tegangan dan regangan:



Gambar 2.17 Diagram Tegangan Regangan (Rudy Dwi Wahyusyah, 2010)

**Gambar 2.17** Diagram tegangan regangan di atas menunjukkan tiga daerah kerja, yaitu :

- a. Daerah elastis digunakan dalam desain konstruksi mesin. Daerah elastis berarti bentuk suatu benda berubah saat gaya atau beban berfungsi, dan perubahan bentuknya akan hilang jika gaya dan beban ditiadakan.
  - b. Daerah plastis digunakan dalam proses pembuatan material. Daerah plastis adalah perubahan bentuk yang permanen bahkan setelah penghapusan bebannya.
  - c. Daerah maksimum digunakan dalam proses pemotongan material.
3. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E = \frac{\Delta F}{\Delta \varepsilon * A}$$

$$E = \frac{\Delta F}{(L_0 - \Delta L_0) * A} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

E = Modulus elastisitas (MPa)

$\Delta F$  = Perubahan beban (N)

$\Delta \varepsilon$  = Perubahan panjang (mm)

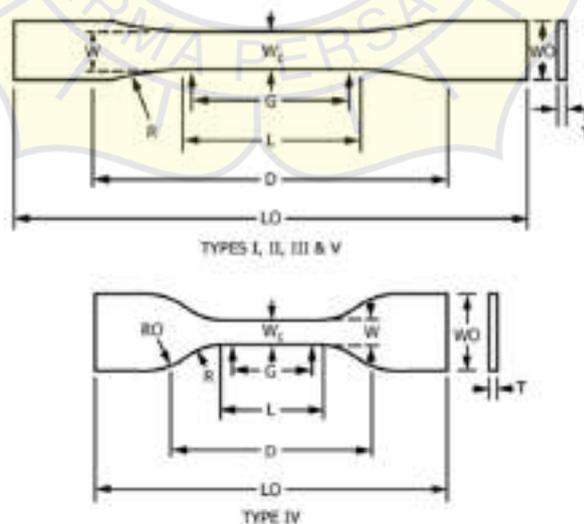
$L_0$  = Perubahan panjang awal (mm)

$\Delta L_0$  = Perubahan panjang akhir (mm)

A = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

### 2.5.1 ASTM D638

ASTM D638 adalah standar untuk menguji sifat tarik plastik. Metode pengujiannya menguji sifat plastik dalam spesimen berbentuk standar dengan memperhatikan suhu, kelembapan, kecepatan mesin, dan luas penampang (ASTM International, 2019)



Gambar 2.18 Bentuk Spesimen ASTM D638 (ASTM International, 2019)

| Dimensions (see drawings)                | Specimen Dimensions for Thickness, $T$ , mm (in.) <sup>a</sup> |           |                                   |                       |                       | Tolerances                  |
|--|--|-----------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|
|  | 7 (0.28) or under  |           | Over 7 to 14 (0.28 to 0.56), incl | 4 (0.16) or under     |                       |                             |
|  | Type I   | Type II   | Type III                          | Type IV <sup>b</sup>  | Type V <sup>c,d</sup> |                             |
| W—Width of narrow section <sup>e,f</sup> | 13 (0.50)  | 6 (0.25)  | 19 (0.75)                         | 6 (0.25)              | 3.18 (0.125)          | ±0.5 (±0.02) <sup>g,h</sup> |
| L—Length of narrow section               | 57 (2.25)  | 57 (2.25) | 57 (2.25)                         | 33 (1.30)             | 9.53 (0.375)          | ±0.5 (±0.02) <sup>g</sup>   |
| WC—Width overall, min <sup>g</sup>       | 19 (0.75)  | 19 (0.75) | 29 (1.13)                         | 19 (0.75)             | —                     | + 0.4 ( + 0.05)             |
| WCO—Width overall, min <sup>h</sup>      | —  | —         | —                                 | —                     | 9.53 (0.375)          | + 3.18 ( + 0.125)           |
| LO—Length overall, min <sup>h</sup>      | 165 (6.5)  | 183 (7.2) | 246 (9.7)                         | 113 (4.5)             | 63.5 (2.5)            | no max./no min.             |
| G—Gage length <sup>i</sup>               | 50 (2.00)  | 50 (2.00) | 50 (2.00)                         | —                     | 7.62 (0.300)          | ±0.25 (±0.010) <sup>g</sup> |
| G—Gage length <sup>j</sup>               | —  | —         | —                                 | 25 (1.00)             | —                     | ±0.13 (±0.005)              |
| D—Distance between grips                 | 115 (4.5)  | 135 (5.3) | 115 (4.5)                         | 65 (2.5) <sup>k</sup> | 25.4 (1.0)            | ±5 (±0.2)                   |
| R—Radius of fillet                       | 76 (3.00)  | 76 (3.00) | 76 (3.00)                         | 14 (0.56)             | 12.7 (0.5)            | ±1 (±0.04) <sup>g</sup>     |
| RO—Outer radius (Type IV)                | —  | —         | —                                 | 25 (1.00)             | —                     | ±1 (±0.04)                  |

Gambar 2.19 Keterangan Gambar Spesimen Pengujian Tarik

(ASTM International, 2019)

## 2.6 Uji Kekerasan (*Hardness Test*)

Ketahanan material terhadap kerusakan, goresan, dan pengikisan disebut kekerasan. Alat pengukur kekerasan dapat dikategorikan menjadi tes *Brinell*, *Knoop*, *Vickers*, atau *Rockwell*. Mereka juga dapat dikategorikan berdasarkan jenis pengukuran yang digunakan, misalnya, bidang kotak atau kedalaman kotak. (ASM Handbook, 2005)

### 2.6.1 *Rockwell Hardness Test*



Gambar 2.20 Alat Uji Kekerasan (*Hardness Tester*)

Dalam penelitian ini, metode rockwell digunakan menguji kekerasan. Metode ini cocok untuk semua material, baik yang keras maupun yang lunak, dan

penekanannya dapat digunakan dengan mudah. Pengujian rockwell fokus pada pengukuran kedalaman hasil penekan atau penekanan (identor) yang membentuk bekasnya pada benda uji.

Rumus yang digunakan dalam uji kekerasan rockwell adalah sebagai berikut:

$$HR = E - e \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

e = Jarak antara kondisi 1 dan kondisi 3 yang dibagi dengan 0.002 mm

E = Jarak antara identor saat diberi minor load and *zero referenceline* yang untuk tiap jenis identor berbeda-beda.

HR = Besarnya nilai kekerasan dengan metode hardness

Pada pengujian kali ini ISO 2039 digunakan peneliti sebagai pedoman saat dilakukannya uji kekerasan menggunakan *rockwell hardness tester*.

## 2.7 Tingkat Kilap (*glossy*)

*Glossy meter* digunakan untuk mengukur daya kilap atau kecerahan pantulan cahaya yang dibuat menggunakan standar kilap. Jika *glossy meter* digunakan pada non-logam, Akan terlihat bahwa jumlah cahaya yang dipantulkan olehnya meningkat jika menggunakan *glossy meter*. Sudut yang biasa digunakan untuk mengukur tingkat *glossy* adalah 20,60 dan 85°, dimana material menyerap sisa cahaya. Pada beberapa kasus logam menunjukkan tingkat refleksi kilap *glossy* yang lebih tinggi daripada non-logam



Gambar 2.21 Alat Uji Kilap (*gloss meter*)

Pengujian *glossy* ini dilakukan untuk mengetahui apakah penambahan *PC/ABS* daur ulang mempengaruhi kualitas pengecatan berdasarkan daya kilap yang dipantulkan. Biasanya, untuk mengukur tingkat *glossy* digunakan alat *glossy meter* yang mengacu pada beberapa standar seperti ISO2813, ASTM D523, DIN67530 dan GB9754, GB9966, GB/T13891

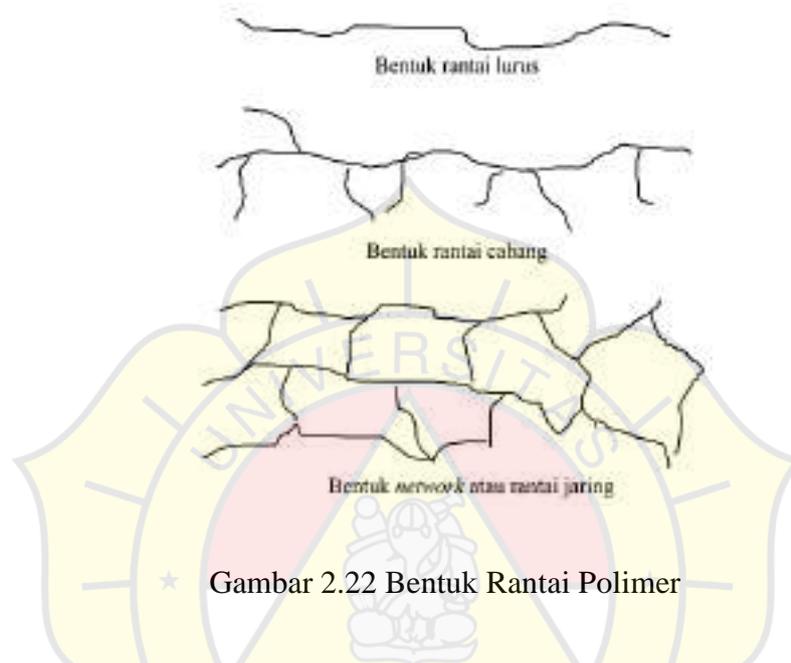
## 2.8 Pengamatan Struktur Mikro

Analisa *SEM* adalah jenis mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk melihat benda dengan resolusi tinggi. Metode ini membantu mengidentifikasi mikrostruktur dalam benda padat. Sifat fisis polimer seperti kelenturan, pelelehan, kekerasan, dan lain sebagainya. Yang dipengaruhi oleh struktur molekul (konfigurasi) dan distribusi berat molekulnya.

Proses *SEM* dimulai dengan anoda yang mempercepat sinar elektron. Setiap kali lensa magnetik memfokuskan elektron ke sampel, sinar elektron yang terfokus memindai sampel secara keseluruhan. Saat elektron mengenai permukaan sampel, permukaan sampel akan mengeluarkan elektron baru. Dalam *SEM*, gambar dibuat berdasarkan deteksi elektron baru, atau elektron pemantul, yang muncul dari permukaan sampel. Setelah elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi

memperkuat sinyalnya, amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor *Cathode Ray Tube (CRT)*.

Polimer dapat dibagi menjadi rantai cabang, rantai lurus (linear), dan rantai jaring atau *network* berdasarkan arsitektur rantai ikatan mereka.



Gambar 2.22 Bentuk Rantai Polimer

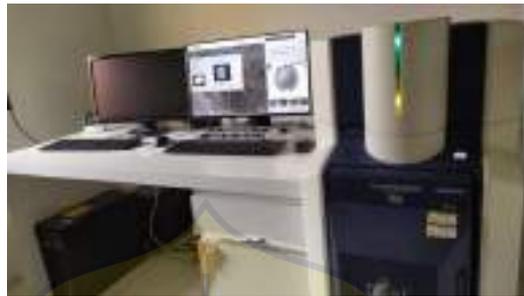
Bentuk rantai di atas berpengaruh terhadap sifat termal polimer, yaitu sifat termoplastik dan termoset.

Namun jika dilihat dari posisi antar molekul polimer, bentuknya dapat berupa kristalin (posisi antar rantai polimer teratur, tersusun rapi) dan amorf (posisi antar molekul tak beraturan atau acak) (Rochmadi & Ajar Permono, 2018).



Gambar 2.23 Posisi Antar Molekul Polimer

Pengamatan struktur mikro memungkinkan struktur diamati di bawah mikroskop optik. Selain itu, dapat dianggap sebagai hasil dari penggunaan *scanning electron microscope (SEM)* untuk melihat morfologi nano komposit. (Nurhajati et al., 2014).



Gambar 2.24 Alat SEM

Berdasarkan referensi dari penelitian yang di publikasikan oleh (Abidin et al., 2012) Sehingga pada penelitian ini pengamatan permukaan spesimen menggunakan SEM bertujuan untuk melihat struktur fisik polimer meliputi bentuk permukaan polimer dan ukuran serta jumlah mikropori yang ada di dalamnya.