

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik Injection Molding

Menurut (Boses, 1995) *Plastic Injection Molding* (PIM) merupakan metode proses produksi yang cenderung menjadi pilihan untuk digunakan dalam menghasilkan atau memproses komponen-komponen yang kecil dan berbentuk rumit, di mana biayanya lebih murah jika dibandingkan dengan menggunakan metode-metode lain yang biasa digunakan.

Teknik *Plastic Injection Moulding* pertama kali diperkenalkan oleh John Wesley Hyatt pada tahun 1868, dengan melakukan *injeksi celluloid* panas ke dalam *mold*, untuk membuat bola billiar. Bersama saudara perempuannya Isaiah, dia mematenkan mesin *injection mold* untuk penyedot debu tahun 1872. Tahun 1946, James Hendri untuk pertama kalinya membuat mesin *screw injection mold*, sehingga terjadi perubahan besar pada industri plastik. Saat ini, 95 % mesin *molding* mengikuti teknik ini, untuk menghasilkan efisiensi panas, efisiensi campuran dan injeksi plastik ke *molding*. (Anif Jamaludin, 2007).

Memperlihatkan kemampuan pemrosesan dan tingkat ketelitian komponen yang dihasilkan dengan PIM dibandingkan dengan proses-proses lain. Pada proses tersebut mampu menghasilkan bentuk rumit dalam jumlah besar maupun kecil sekalipun. Salah satu keunggulan proses PIM adalah kemampuannya dalam menggabungkan dan menggunakan kelebihan-kelebihan teknologi seperti kemampuan pembentukan bahan plastik, ketepatan dalam proses pencetakan dan kebebasan memilih bahan.

Komponen yang dihasilkan dengan teknologi PIM kini banyak digunakan dalam industry, misalnya otomotif, listrik, komputer, peralatan rumah tangga dan masih banyak lagi. Komponen yang dihasilkan dengan teknologi *Plastic Injection Moulding* kini banyak digunakan dalam industri otomotif, kimia, penerbangan, listrik, komputer, kedokteran dan peralatan militer. Misalnya spakbor, pesawat telepon, *keyboard*, *mouse*, rumah lampu mobil, *dashboard*, reflektor, helm, sisir, roda furnitur, *casing* telepon seluler, dan lainnya.

2.2 Jenis-Jenis Kode Pada Plastik

Berikut adalah beberapa jenis kode pada plastik yang diketahui, yaitu:

1. PETE/PET (*Poly Ethylene Terephthalate*)

Biasa dipakai untuk botol plastik transparan seperti botol air mineral, botol minuman, botol jus, botol minyak goreng, botol kecap, dan botol sambal. PETE/PET direkomendasikan 'hanya untuk sekali pakai'. Buang botol apabila sudah habis isinya dan tidak untuk diisi ulang/digunakan kembali.

2. HDPE (*High Density PolyEthylene*)

Biasa dipakai untuk botol kosmetik, botol obat, botol minuman, botol susu yang berwarna putih susu, *tupperware*, galon air minum, kursi lipat, dan jerigen, dan pelumas. Memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, buram dan lebih tahan terhadap suhu tinggi. HDPE direkomendasikan hanya untuk sekali pakai.

3. V/PVC (*PolyVinyl Chloride*)

Biasa dipakai pada plastik pembungkus (*cling wrap*), untuk mainan, selang, pipa bangunan, taplak meja plastik, botol kecap, botol sambal dan botol shampoo. Jenis plastik yang paling sulit didaur ulang. PVC mengandung DEHA yang mudah melebur jika terdapat kontak antara permukaan plastik dengan minyak, berbahaya untuk ginjal dan hati.

4. LDPE (*Low Density PolyEthylene*)

Biasa dipakai untuk tempat makanan, plastik kemasan, botol-botol yang lembek, tutup plastik, kantong/tas kresek, dan plastik tipis lainnya. Bersifat fleksibel, kuat, sulit dihancurkan. Pada suhu di bawah 600 °C.

5. PP (*PolyPropylene*)

Merupakan pilihan bahan plastik terbaik dan paling aman, terutama untuk tempat makanan dan minuman seperti tempat menyimpan makanan, tutup botol, cup plastik, mainan anak, botol minum dan yang terpenting, pembuatan botol minum untuk bayi bersifat elastis.

6. PS (*PolyStyrene*)

Biasa dipakai sebagai bahan tempat makan *styrofoam*, tempat minum sekali pakai seperti sendok, garpu gelas. *Polystyrene* dapat mengeluarkan bahan *Styrene* ke dalam makanan ketika makanan tersebut bersentuhan, berbahaya untuk otak dan sistem saraf. Bahan ini sulit didaur ulang.

7. *Other (PolyCarbonate)*

Biasanya ada di tempat makanan dan minuman seperti botol minum olahraga. Dan digunakan untuk membuat botol minuman, tas oven, atau *packaging*. Tingkat bahaya dan sulit didaur ulang.

Table 2.1 Temperatur leleh termoplastik (Kristyantoro , 2009)

| No. | Material | °C |
|-----|--------------|---------|
| 1. | LDPE | 160-240 |
| 2. | HDPE | 200-280 |
| 3. | PP | 190-220 |
| 4. | ABS | 180-240 |
| 5. | NYLON | 260-290 |
| 6. | ACETAL | 185-225 |
| 7. | ACRYLIC | 180-250 |
| 8. | POLYCARBONAT | 280-310 |
| 9. | PS | 180-260 |
| 10. | PVC | 160-180 |

2.3 Pengertian Injection Molding

Injection Molding adalah salah satu teknik yang digunakan dalam memproduksi plastik dan proses ini adalah proses yang paling efisien biaya untuk menghasilkan produk plastik. Salah satu teknik pembentukan plastik adalah dengan metode cetakan plastik (*plastic moulding*) yang sekarang di era modern ini telah berkembang dengan pesat. Pencetakan plastik adalah proses pembentukan suatu benda atau produk dari material plastik dengan bentuk dan ukuran tertentu yang mendapat perlakuan panas dan pemberian tekanan dengan cara diinjeksikan pada cetakan (*mould*). Bahan baku plastik sering digunakan di berbagai industri elektronik, otomotif dan peralatan industri lainnya.

Salah satu metode proses yang paling umum digunakan untuk produk plastik adalah *injection moulding* (Zafar, 1993; Yulianto et al, 2014). *Injection moulding* adalah proses dimana bahan termoplastik dipanaskan dan meleleh di silinder dan kemudian diinjeksikan ke dalam dan mengeras kembali di dalam *mould* (Han and Kim, 2017), walaupun metode ini juga bisa digunakan untuk termoset (Rosato et al, 2004). Pengaruh parameter proses injeksi seperti suhu leleh, batas tekanan, waktu tahan, waktu penekanan, suhu cetakan, kecepatan injeksi, dan ketebalan dinding cetakan dapat mempengaruhi timbulnya beberapa jenis cacat. Sedangkan timbulnya cacat produk mengakibatkan biaya produksi yang tinggi serta tingkat operasional yang kurang efisien karena banyak produk perlu didaur ulang serta jumlah produk akhir yang dihasilkan menurun (Zulianto, 2015). Cacat produk yang umum terjadi pada metode *injection moulding* adalah *voids*, *surface blemish*, *short-shot*, *flashing*, *jetting*, *flow marks*, *weld lines*, terbakar dan *warpage* (Yusoff et al, 2004).

2.3.1 Komponen-Komponen Mesin Injection Moulding

Berikut adalah Komponen dari mesin injeksi *moulding*.

1. *Hopper*: *Hopper* adalah tempat untuk menempatkan material plastik, sebelum masuk ke barel. Fungsi dari *hopper* adalah untuk menjaga kelembaban plastik. Jika kandungan air terlalu besar maka hasil dari injeksi tidak bagus.
2. *Barrel/Laras*: Penggunaan utama dari laras/*barrel* adalah untuk memberikan dukungan pada skrup. *Barrel* terdiri dari pita pemanas yang berfungsi sebagai perekam suhu untuk setiap bagian *barrel/laras*.

3. Skrup: sekrup *reciprocating* yang digunakan dalam mengompresi, melelehkan, dan mendorong bahan plastik. skrup terdiri dari tiga zona yaitu zona makan, zona transisi, dan zona metering.
4. *Nozzle*: Fungsi utama dari nosel adalah untuk menginjeksikan plastik kedalam *mould*/cetakan Sangat penting sekali bahwa suhu nosel harus diatur ke suhu leleh bahan.
5. *Tie Bar*: Difungsikan sebagai penyangga untuk *mould*, *clamping*, dan *ejector*.

2.3.2 Komponen-Komponen *Moulding Unit*

Merupakan tempat mencairkan plastik dan proses injeksi *plastic* ke dalam *mould*, berikut beberapa bagian nya :

Table 2.2 Komponen Moulding Unit

| <i>Moulding</i> Komponen | Fungsinya |
|--------------------------|---|
| <i>Mould Base</i> | Memegang rongga di posisi tetap terhadap mesin nosel. |
| <i>Guide Pin</i> | Mempertahankan kesejajaran dari dua buah cetakan. |
| <i>Sprue Bushing</i> | Menyediakan sarana untuk masuk cairan plastik kedalam cetakan interior. |
| <i>Gates</i> | Untuk mengontrol cairan plastik menuju rongga (<i>cavity</i>). |
| <i>Runner</i> | Mengalirkan <i>plastic</i> cair dari sprue |

| | |
|--|---|
| | ke dalam rongga (<i>cavity</i>). |
| <i>Cavity and Core</i> | Untuk mengontrol ukuran, bentuk, dan permukaan tekstur dari bentuk produk. |
| <i>Water Channels</i> | Untuk mengontrol suhu permukaan cetakan untuk mendinginkan <i>plastic</i> |
| <i>Vents</i> | Untuk keluarnya udara dan gas yang terperangkap. |
| <i>Ejector Mechanism (pin, blades, stripper plate)</i> | Untuk mengeluarkan <i>moulding</i> yang kaku dari rongga (<i>cavity</i>) dan inti (<i>core</i>) |
| <i>Ejector return pins</i> | Mengembalikan <i>ejector pin</i> untuk ditarik kembali ke posisi awal, untuk siklus injeksi berikutnya. |

2.4 Proses Injection Molding

2.4.1 Proses – Proses Pada Mesin *Injection Molding*:

1. Material yang berupa biji plastik dimasukkan kedalam *hopper*. Karena akibat dari gaya gravitasi maka biji plastik akan turun dengan sendirinya masuk ke dalam rongga ulir pada *screw*.
2. *Screw* tersebut bergerak mundur dan berputar berlawanan arah jarum jam membawa butiran-butiran biji plastik ke *barrel* untuk dipanasi hingga biji plastik meleleh.
3. Bila *screw* mundur hingga mencapai batas yang telah ditentukan, maka *screw* akan berhenti berputar dan bergerak maju untuk mendorong biji

plastik yang sudah meleleh masuk ke dalam *mould* melalui *nozzle* (proses injeksi).

4. Setelah melakukan penginjeksian, *screw* akan berhenti untuk melakukan *holding pressure* dan setelah itu terjadi proses pendinginan pada cetakan.
5. Setelah proses pendinginan pada cetakan selesai, *screw* akan mundur untuk melakukan pengisian *barrel*. Pada saat itu *clamping unit* akan bergerak untuk membuka *mould* dan produk dikeluarkan oleh *ejector* yang telah terpakai di dalam *mould* (*full automatic*). Bila sistem *ejector* *semi automatic* maka *ejector* mendorong produk tetapi tidak sampai keluar dari *mould*, diperlukan tenaga operator untuk mengeluarkan produk.
6. Setelah produk keluar dari *mould*, maka *clamping unit* akan menutup cetakan dan *screw* melakukan penginjeksian lagi seperti pada langkah awal.

2.4.2 Sistem Controler

Tempat tombol-tombol untuk mengoperasikan mesin *injection*. Parameter yang dapat di-*setting* menggunakan *control panel*, antara lain :

1. Suhu: setel suhu pemanas *barrel* rendah untuk menghindari pembusukan, dan setel suhu cetakan tinggi.
2. Tekanan: tekanan injeksi, tekanan penahan, tekanan balik harus diatur dari nilai rendah (jika pengisian berlebih dapat merusak cetakan dan mesin).
3. Kekuatan penjepit: atur dari nilai tinggi.

4. Kecepatan: atur kecepatan injeksi dari lambat; atur kecepatan putar *screw* dari rendah; atur kecepatan buka / tutup cetakan perlahan pada awalnya; volume injeksi dari posisi kecil.
5. Waktu: atur waktu penahanan tekanan lama dari mesin cetak injeksi dan waktu pendinginan.

2.4.3 Parameter Proses Injection Molding

Untuk memperoleh produk cetak dengan kualitas hasil yang optimal, perlu mengatur beberapa parameter yang mempengaruhi jalannya proses produksi tersebut. Parameter-parameter suatu proses tentu saja ada yang berperan sedikit dan ada pula yang mempunyai peran yang signifikan dalam mempengaruhi hasil produksi yang diinginkan. Biasanya orang perlu melakukan beberapa kali percobaan hingga ditemukan parameter-parameter apa saja yang cukup berpengaruh terhadap produk akhir benda cetak. (Firdaus, 2002)

Adapun parameter-parameter yang berpengaruh terhadap proses produksi plastik melalui metoda *injection molding* adalah:

1. Temperatur Leleh (*Melt Temperatur*)

Temperatur leleh merupakan batas suhu leleh dimana bahan plastik akan mulai meleleh disebabkan oleh pemanasan pada *barrel*. Titik suatu plastic berbeda-beda tergantung sifat plastik tersebut. Pada proses pelelehan bahan perlu diperhatikan, seperti bahan plastik apa yang akan dilelehkan, karakterisasi mesin injeksi, dan berat material yang akan diinjeksi.

2. Batas Tekanan

Batas tekanan adalah batas tekanan saat penginjeksian plastik leleh. Tekanan saat penginjeksian sangat berpengaruh terhadap hasil produk. Tekanan yang terlalu rendah akan membuat plastik leleh tidak bisa masuk pada cetakan. Sedangkan tekanan yang terlalu besar akan membuat plastik leleh masuki cetakan dengan sangat cepat yang bisa membuat plastik leleh menjadi berhamburan dan produk kurang optimal.

3. Waktu Tahan (*Holding Time*)

Waktu tahan adalah waktu yang diperlukan setelah proses mendorong plastik kedalam cetakan sesudah *injection pressure*. Pada tahap ini dilakukan untuk memastikan bahwa plastik benar-benar mengisi cetakan. Maka dari itu waktu tahan sangat berpengaruh pada besarnya cetakan. Sehingga cetakan yang besar akan memerlukan waktu tahan yang lama dan sebaliknya.

4. Tekanan Injeksi (*Injection Pressure*)

Tekanan injeksi adalah tekanan yang diperlukan untuk memasukkan plastik leleh ke dalam cetakan. Pada proses ini tekanan akan menggerakkan *screw* ke depan yang akan memasukkan plastik leleh pada cetakan melalui *nozzle*. Tekanan injeksi sangat berpengaruh terhadap kualitas produk karena tekanan injeksi yang tepat akan membuat plastik leleh memenuhi rongga cetakan dengan baik.

5. Kecepatan Injeksi (*Injection Rate*)

Kecepatan injeksi merupakan kecepatan laju dorong plastik leleh keluar dari *nozzle* untuk mengisi cetakan. Pada mesin injeksi tertentu kecepatan

ini dapat diukur namun pada mesin injeksi sederhana biasanya tidak dilengkapi oleh alat pengukur kecepatan tersebut.

6. Ketebalan Dinding Cetakan (*Wall Thickness*)

Ketebalan dinding cetakan sangat berpengaruh terhadap terjadinya cacat *shrinkage*. Semakin tebal suatu cetakan maka akan besar pula kemungkinan terjadinya cacat *shrinkage*.

7. Waktu Pendingin (*Cooling time*)

Waktu pendingin akan dipengaruhi oleh material yang dipakai, ketebalan cetakan, suhu cetakan dan suhu leleh.

8. Temperatur Cetakan (*Mold temperature*)

Suhu cetakan adalah suhu yang dihasilkan dari pemanas pada cetakan.

Panas dihasilkan dari pemanas akan merambat melalui dinding cetakan.

2.4.4 Cacat Produk Injection Molding

Pada produksi menggunakan mesin injeksi juga tidak terlepas dari terdapat beberapa cacat produk, cacat tersebut sering terjadi dan sangat merugikan.

Beberapa cacat yang terjadi pada proses injeksi *molding* antara lain:

1. *Short - shot* adalah cacat produk akibat dari pengisian yang tidak sempurna.
2. *Sink mark* adalah keadaan cacat produk yang berupa bentuk cembung pada permukaan produk.
3. *Air bubble* adalah cacat gelembung udara di dalam produk.

4. *Weldmark* dan *Flow mark* adalah cacat yang berupa garis di permukaan produk.
5. *Discolored molding* adalah cacat berupa pelunturan warna pada produk.
6. *Black spot* adalah cacat berupa bintik hitam pada bagian-bagian tertentu pada produk.
7. *Hole/gap* adalah cacat berupa regangan pada bagian part yang dicetak akibat pengaruh temperatur yang kurang panas.
8. *Over molding* adalah cacat produk yang meluber akibat tekanan yang terlalu tinggi
9. *Flash* merupakan sebuah cacat produk yang berada di pinggir produk. Cacat ini terbentuk karena terbukanya celah pada cetakan pada proses pengisian atau pada fasa penahanan.
10. *Warpage* adalah cacat produk yang terlihat pada permukaan produk yang melengkung dan bengkok. Cacat *warpage* biasanya dipengaruhi oleh parameter waktu tahan dan suhu cetakan.

2.4.5 Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan untuk penelitian ini adalah *Polypropylene* (PP). *Polypropylene* (PP) adalah sebuah polimer termoplastik yang dibuat oleh industri kimia dan digunakan dalam berbagai aplikasi, di antaranya pengemasan, tekstil (contohnya tali, pakaian dalam termal, dan karpet), alat tulis, berbagai tipe wadah terpakaikan ulang serta bagian plastik, perlengkapan laboratorium, pengeras suara, komponen otomotif, dan uang kertas polimer (Hartono, 2012).

Polypropylene merupakan polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas propilena.

Polipropilena mempunyai *specific gravity* rendah dibandingkan dengan jenis plastik lain. Sebagai perbandingan terlihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Perbandingan *specific gravity* dari berbagai material plastik (Imam, 2005).

| Resin | Specific Gravity |
|-----------------|------------------|
| PP | 0,85 - 0,90 |
| LDPE | 0,91 - 0,93 |
| HDPE | 0,93 - 0,96 |
| Polistirena | 1,05 - 1,08 |
| ABS | 0,99 - 1,10 |
| PVC | 1,15 - 1,65 |
| Asetil Selulosa | 1,23 - 1,34 |
| Nylon | 1,09 - 1,14 |
| Poli Karbonat | 1,20 |
| Poli Asetat | 1,38 |

Polypropylene mempunyai titik leleh yang cukup tinggi (190 - 200 °C), sedangkan titik kristalisasinya antara 130 - 135 °C. Untuk temperatur proses polipropilena rata-rata 200 °C - 300 °C. Polipropilena mempunyai ketahanan terhadap bahan kimia (*Chemical Resistance*) yang tinggi, tetapi ketahanan pukul

(*impact strength*) nya rendah (Imam, 2005). Sifat-sifat yang lain dari propilena antara lain sebagai berikut:

1. Lebih tahan panas.
2. Keras, flexible, dapat tembus cahaya.
3. Ketahanan kimianya bagus.

Tabel 2.4. Sifat-sifat *Polypropylene*

| Sifat-sifat | Polypropylene |
|--|----------------|
| Kristalinitas | 60% |
| Massa jenis [10^3 kg.m^{-3}] | 0,90 |
| Tg [$^{\circ}\text{C}$] | 10 |
| Tm [$^{\circ}\text{C}$] | 176 |
| Tegangan Tarik [N.mm^{-2}] | 30 sampai 40 |
| Modulus Tarik [N.mm^{-2}] | 1.1 sampai 1,6 |
| Perpanjangan [%] | 50 sampai 600 |

Sumber : Hadi Syamsul, Ir. 1995, "Teknologi Bahan 3", Hal 36

2.4.6 Sistem Ejeksi

Sistem ejeksi adalah teknik pengeluaran produk dari cetakan inti dengan cara disentak. Penyentak bersumber dari mekanisme mesin injeksi, ataupun dengan cara memanfaatkan bukaan cetakan pada saat pengeluaran produk. Di dalam perancangan produk untuk gelas plastik ini, sistem ejeksi yang digunakan adalah ejeksi gerakan tunggal di mana ejektornya adalah *slinder pin ejector* dan *sprue puller*. Dimensi *ejector* ini direncanakan sesuai dengan jarak antara *cavity plate* dengan *top ejector plate*. Dengan diameter yang telah disesuaikan dengan ukuran *cavity*, *ejector* yang digunakan berjumlah sebanyak empat buah.

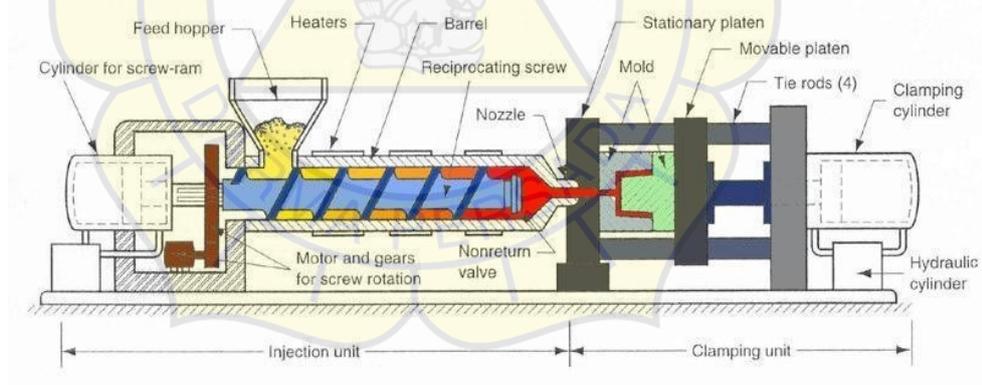
2.4.7 Sistem Pengarah

Sistem pengarah adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengarahkan dan menempatkan pelat jalan (*moving plate*) terhadap pelat tetap (*fixed plate*). Ukuran dari pena pengarah ini disesuaikan dengan ukuran sarung pengarahnya dan diameter pena pengarahnya dibuat dengan ukuran yang memungkinkan tidak terjadinya kelenturan atau getar saat *move plate* bergerak menuju plat tetap.

Sistem pengarah umumnya terdiri dari:

1. Pena pengarah.
2. Sarung pengarah atau tempat masuknya pena pengarah.

2.5 Kapasitas dan Parameter Mesin *Injection Molding*



Gambar 2.1 Bagian Mesin *Injeksi Molding*

2.5.1 Kapasitas Mesin

Sebelum melakukan perancangan, sangatlah penting untuk mengetahui atau merencanakan jenis mesin injeksi dan kapasitas mesin yang digunakan sebagai dasar untuk menentukan dimensi cetakan. Parameter mesin yang diperlukan dalam proses perancangan diantaranya adalah:

1. Jarak minimal dan maksimal bukaan mesin untuk merancang ketinggian mould (*mould high*).
2. Jarak poros mesin (*tie bar*) untuk menentukan lebar mould yang dapat dipasang pada meja mesin.
3. Diameter lubang standar untuk dudukan ring penepat pada mould.
4. Kemampuan maksimum gaya clamping mesin.
5. Radius pada ujung *nozzle*.
6. Sistem *ejector* mesin.
7. Jarak lubang dan dimensi baut pengikat pada meja mesin.

Pada dasarnya ketetapan pengaturan parameter injeksi akan menentukan kualitas produk yang dihasilkan, baik dari ketetapan dimensi, berat produk dan bentuk produk secara keseluruhan, akan tetapi ada beberapa parameter tertentu yang harus dicapai terutama yang berhubungan dengan spesifikasi bahan plastik.

Parameter injeksi yang berpengaruh diantaranya adalah:

1. Temperatur injeksi.
2. Waktu pengisian kaviti (*cavity filling time*).
3. Tekanan injeksi (*injection pressure*).
4. Tekanan jepit (*clamping pressure*).
5. Kecepatan injeksi (*injection speed*).
6. Waktu pendinginan (*cooling time*).
7. Waktu pemadatan (*holding time*).