

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

www.itk.ac.id

2.1 *Injection Molding*

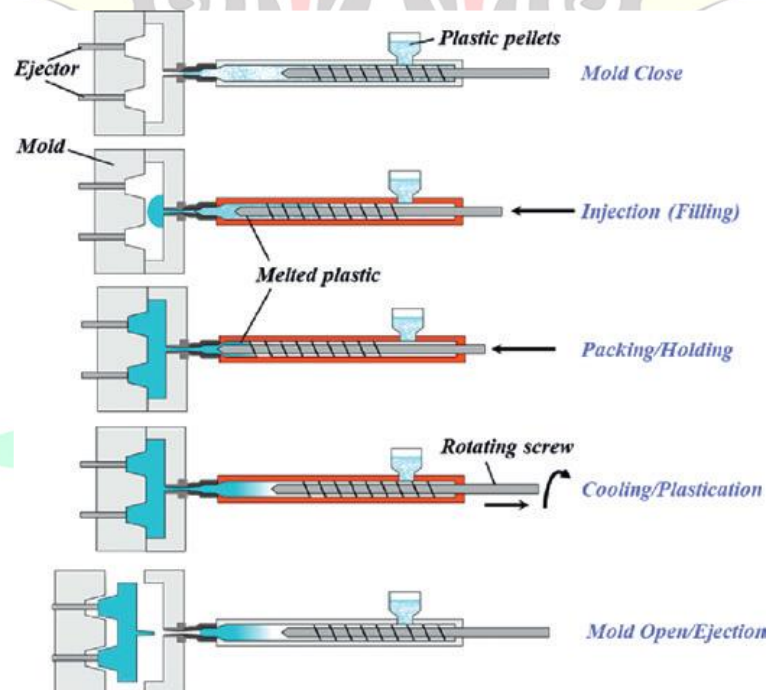
Injection molding merupakan proses dimana polimer dipanaskan hingga tingkat yang sangat plastis kemudian dipaksa mengalir di bawah tekanan tinggi ke dalam cetakan. Polimer yang sangat plastis kemudian dibentuk ke dalam wadah yang disebut cetakan, ketika sudah melalui *cooling time* polimer dikeluarkan dari rongga cetakan. Proses ini dapat menghasilkan komponen yang bentuknya hampir selalu bersih. Waktu siklus produksi proses ini ialah selama 10 sampai 30 detik, walaupun siklus 1 menit atau lebih kadang terjadi dalam komponen dengan dimensi yang besar. Cetakan dapat berisi lebih dari satu rongga, sehingga cetakan dapat diproduksi secara banyak setiap siklus.

Injection Molding adalah proses percetakan yang paling banyak digunakan untuk termoplastik. Beberapa jenis plastik seperti termoset dan elastomer dicetak injeksi, dengan modifikasi peralatan dan parameter operasi untuk memungkinkan *cross-linking* bahan-bahan (Groover, 2010). Adapun mesin *injection molding* sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.1 dapat dibuat dengan bentuk yang minimalis untuk memudahkan dibawa kemana saja serta memiliki biaya *maintenance* yang relatif murah dibandingkan mesin *injection molding* konvensional.



Gambar 2. 1 Mesin *Injection Molding* (Adhiharto, 2017).

Pengoperasian mesin *injection molding* terdiri dari unit kontrol, cetakan yang dijepit dengan benar pada rongga untuk menentukan geometri, dan unit kontrol pada unit cetakan. Adapun skematik dari proses *injection molding* dapat dilihat pada Gambar 2.2 pada mesin *injection molding* konvensional. Proses pengoperasian dimulai dengan memasukkan pelet plastik dengan ukuran sekitar 2 sampai 3 mm ke bagian *hopper* dari mesin *injection molding*. Pelet plastik harus terlebih dahulu dikeringkan dan dibersihkan untuk memastikan kadar air rendah. Zat aditif dapat ditambahkan ke pelet untuk dimasukkan ke dalam *hopper* untuk memodifikasi hasil akhir dari sifat-sifat produk. Bagian *screw* pada mesin kemudian berputar dan membawa pelet ke bagian *barrel* yang dipanaskan, dimana *barrel* terdiri dari zona pemasukan, zona kompresi (transisi) dan zona pengukuran. Pelet yang telah melewati zona pemasukan dan zona kompresi secara bertahap akan meleleh sampai menjadi lelehan panas di dalam zona pengukuran. Bagian *screw* berhenti berputar saat jumlah lelehan tepat diakumulasikan dari ujung *screw* ke *nozzle*. Tahap persiapan lelehan disebut *plasticating*. Pada bagian depan ujung *screw* terdapat katup penutup untuk mencegah lelehan masuk ke cetakan selama tahap *plasticating*.



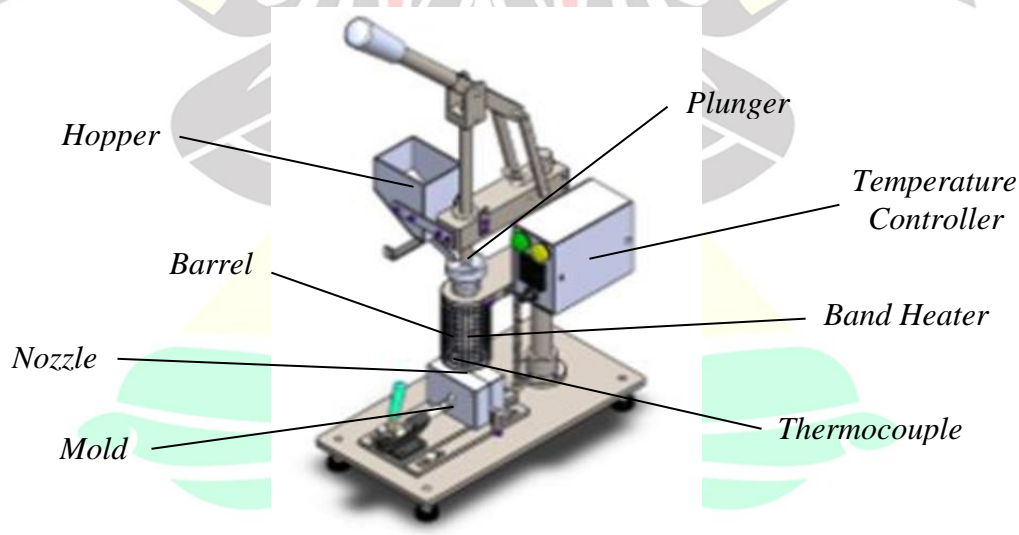
Gambar 2. 2 Schematic Process Injection Molding (Chen, 2019)

Screw berhenti berputar, sehingga tekanan hidrolis atau motor listrik mendorong *screw* ke depan dengan kecepatan yang ditentukan dan mendorong

pelet yang meleleh kemudian mengalir melalui nosel, *sprue*, zona aliran dan ke dalam rongga cetakan. Tahap dimana lelehan mulai mengalir melalui zona aliran sampai rongga cetakan terisi penuh disebut tahap pengisian cetakan. Pada saat rongga terisi penuh, *screw* mendorong lelehan tambahan ke dalam rongga cetakan dengan kecepatan sangat rendah untuk menggantikan penyusutan berikutnya karena pemadatan lelehan. Bagian *screw* mengalami perlambatan dibawah tekanan yang ditentukan disebut tahap *packing* atau *holding*. Lelehan yang terisi ke dalam rongga cetakan di dinginkan sampai permukaan lelehan menjadi padat kemudian cetakan dibuka dan dikeluarkan dari cetakan. Tahap solidifikasi lelehan disebut tahap pendinginan cetakan (Chen, 2019).

2.1.1 Komponen Mesin *Injection Molding*

Mesin *Injection Molding* terbagi menjadi dua bagian utama yaitu *injection unit* dan *molding unit*. *Injection Unit* merupakan bagian paling penting dari mesin *injection molding*, dimana tempat material dicairkan dan proses injeksi material ke dalam *mold*. *Molding Unit* merupakan bagian dimana proses pembentukan material menjadi suatu bentuk yang sesuai dengan *mold* atau cetakan yang diinginkan.



Gambar 2. 3 Komponen Mesin *Injection Molding* (Adhiharto, 2017)

Adapun komponen-komponen utama pada mesin *injection molding* terdiri dari :

1. *Hopper*

Hopper merupakan tempat menampung dengan memasukan material yang akan dilelehkan menuju *barrel*

2. *Plunger*

Plunger merupakan silinder pejal yang berfungsi untuk menginjeksikan material yang telah dilelehkan pada *barrel* menuju *nozzle*

3. *Barrel*

Barrel merupakan pipa baja yang berfungsi tempat untuk melelehkan material yang diolah pada proses injeksi

4. *Nozzle*

Nozzle merupakan bagian yang menyempit sebagai penghubung material yang dilelehkan pada *barrel* menuju ke *mold* atau cetakan

5. *Band Heater*

Band heater merupakan elemen pemanas untuk memanaskan *barrel* agar dapat melelehkan material yang akan diolah

6. *Thermocouple*

Thermocouple merupakan sensor yang membaca temperatur yang dihasilkan oleh *band heater* sesuai dengan titik leleh suatu material

7. *Temperature Controller*

Temperature controller merupakan sistem kontrol yang membaca *thermocouple* agar dapat dikendalikan temperatur yang dihasilkan oleh *band heater*

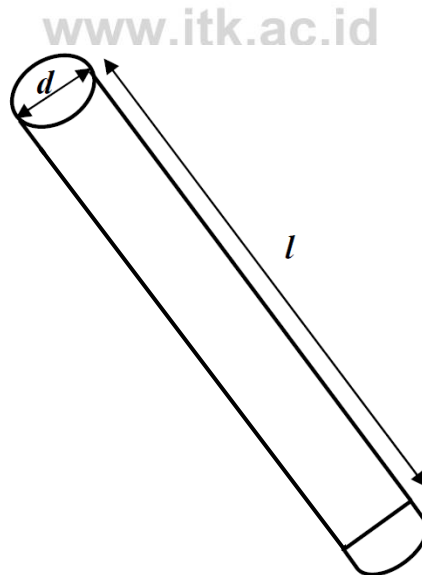
8. *Mold* atau cetakan

Mold atau cetakan merupakan bagian yang berfungsi sebagai pembentukan material yang akan dibuat agar sesuai dengan yang diinginkan (Yaqin, 2018).

2.1.2 Perhitungan Perancangan *Injection Unit* pada Mesin *Injection Molding*

Injection unit merupakan bagian penting dari suatu mesin *injection molding*, dikarenakan pada bagian ini material yang akan dibuat akan diolah dengan dilelehkan pada temperatur tertentu sesuai dengan sifat fisik masing-masing polimer. Pada umumnya *injection unit* dilengkapi dengan *screw* pada tipe mekanik untuk *mixing* material dan *plunger* pada tipe hidrolik untuk *injection* material. Panjang *plunger* berhubungan terhadap diameternya, rasio perbandingan panjang dan diameter *plunger* disesuaikan dengan panjang dan diameter *barrel* (Adhiharto,

2017. Dimensi *plunger* agar dapat berhasil mendorong volume leleh (V) pada dalam *barrel* dapat ditentukan dengan mengetahui diameter *plunger* yang diperlukan (Oyetunji, 2010).



Gambar 2. 4 *Injection Plunger* (Oyetunji, 2010)

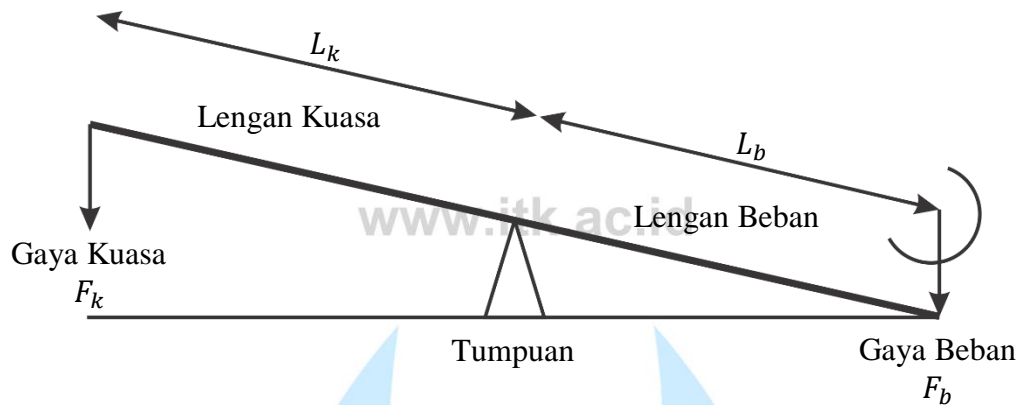
Dilihat dari Gambar 2.4 diameter *plunger* (d) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$d = \sqrt{\frac{4m}{\pi\rho l}} \quad (2.1)$$

Besarnya massa untuk kapasitas injeksi dapat ditentukan dengan menentukan massa material yang akan diolah sehingga dapat diketahui massa jenis dari polimer tersebut. Persamaan 2.1 besarnya diameter *plunger* dapat ditemukan dan disesuaikan dengan diameter *barrel* kemudian dapat ditentukan diameter *band heater* (Oyetunji, 2010).

2.1.3 Perhitungan Gaya yang terjadi pada Mesin *Injection Molding*

Mesin *injection molding* dengan inovasi yang baru biasa dibuat dengan sistem manual, dimana menggunakan tuas sebagai bagian penekanan mesin yang langsung dipegang oleh penginjeksi. Sistem ini berperan penting sebagai pemberi gaya tekan pada saat menginjeksikan material menggunakan sistem tuas yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 (Syarifudin, 2017).



Gambar 2.5 Sistem pada Tuas (Syaifudin, 2017)

Dilihat dari Gambar 2.5 dapat ditentukan persamaan yang berlaku pada sistem tuas sebagai berikut :

$$F_k \times L_k = F_b \times L_b \quad (2.2)$$

Besarnya gaya tekan dapat diperoleh dengan mengetahui gaya beban kemudian panjang lengan kuasa tekan dan panjang lengan beban (Syaifudin, 2017).

2.2 Faktor Keamanan

Suatu elemen atau komponen struktur beban maksimum diperbolehkan dibawah dalam kondisi normal jauh lebih kecil daripada beban utama. Beban yang diizinkan (beban kerja atau desain) ialah beban yang lebih kecil. Sebagian kecil dari kapasitas beban utama dari elemen yang digunakan saat beban yang diizinkan diterapkan. Rasio beban utama terhadap beban yang diizinkan digunakan untuk menentukan faktor keamanan dari suatu elemen atau komponen.

$$\text{Faktor Keamanan} = \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Tegangan yang terjadi}} \quad (2.3)$$

Faktor keamanan yang tepat diperlukan pada perancangan agar aman dan biaya konstruksi yang dibutuhkan minimal. Faktor keamanan yang disarankan ditunjukkan pada Tabel 2.1 (Wilson, 1975).

Tabel 2. 1 Faktor Keamanan Yang Disarankan Dalam Perancangan

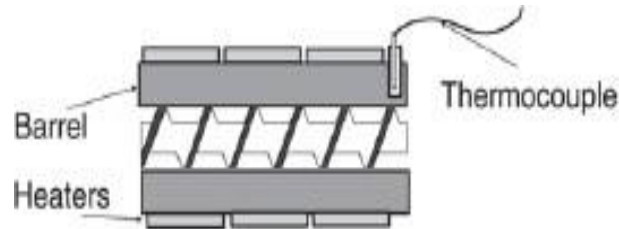
No	Faktor Keamanan Yang Disarankan	Hasil
1.	N = 1,25 – 1,50	Data material yang sangat akurat dan andal, jenis pembebanan yang pasti, metode perhitungan tegangan yang akurat.
2.	N = 1,50 – 2,00	Data material yang cukup baik, kondisi lingkungan yang stabil dan beban serta tegangan yang terjadi dapat dihitung dengan baik.
3.	N = 2,00 – 2,50	Material rata-rata, komponen dioperasikan pada lingkungan normal, beban dan tegangan dapat dihitung dengan normal.
4.	N = 2,50 – 3,00	Untuk material yang datanya kurang baik, atau material getas dengan pembebanan dan lingkungan rata-rata.
5.	N = 3,00 – 4,00	Untuk material yang belum teruji, dengan pembebanan dan lingkungan rata-rata.
6.	N = 4,00 – 5,00	Beban berulang-ulang (bolak-balik): angka-angka yang disarankan diatas dapat digunakan tetapi dengan <i>endurance limit</i> sebagai “ <i>significant strength</i> ”
7.	N = 5,00 – 6,00	Beban impak: angka-angka yang disarankan diatas dapat digunakan tetapi faktor impak harus dimasukkan
8.	N = 6,00 – 7,00	Material getas: angka-angka disarankan diatas dikalikan dua untuk material getas, faktor keamanan dihitung terhadap <i>ultimate strength</i>

*)(Wilson, 1975)

2.3 Elemen Pemanas

Mesin *injection molding* pada *barrel* setidaknya memiliki satu pemanas atau beberapa pemanas yang dikendalikan oleh *thermocouple*. Pemanas yang dikendalikan oleh sinyal *thermocouple* terhubung langsung dengan *temperature controller* yang menunjukkan kondisi *on/off*. Pengukuran temperatur diletakkan disatu tempat yaitu pada *barrel* hingga keluar dari *nozzle* yang ditunjukkan pada

Gambar 2.6 dan *thermocouple* yang sering digunakan pada mesin *injection molding* yaitu *thermocouple* tipe K. Tabel 2.3 menunjukkan tipe-tipe *thermocouple* (Harold, 2005).



Gambar 2. 6 Posisi *thermocouple* dan *heater* pada *barrel* (Harold, 2005)

Tabel 2. 2 Tipe-tipe *Thermocouple*

Type/Color	Conductor	1/4" Diam.	3/16"	1/8" Diam.	1/6" Diam.
		Probe 18	Diam. Probe 24	Probe 24	Probe 30
J/Black	Fe/CuNi	482 °C (900 F)	482 °C (900 F)	371 °C (700 F)	315 °C (600 F)
K/Yellow	NiCr/NiAl	982 °C (1800 F)	982 °C (1800 F)	871 °C (1600 F)	760 °C (1400 F)
T/Blue	Cu/CuNi	287 °C (550 F)	260 °C (500 F)	204 °C (400 F)	148 °C (300 F)
E/Purple	NiCr/CuNi	573 °C (1000 F)	537 °C (1000 F)	462 °C (800 F)	371 °C (700 F)

*) (Harold, 2005)

2.4 *Mold* atau Cetakan

Tempat untuk melelehkan material (plastik atau logam) agar dapat dibentuk sesuai dengan profil rongga yang diinginkan disebut *mold* atau cetakan. Pada mesin *injection molding* konvensional *mold* terdiri dari dua bagian pelat, yaitu pelat bergerak (*moveable plate*) dan pelat diam (*stationary plate*). Pelat yang dipasang pada *moveable platen* ialah bagian *mold* yang bergerak dan yang dipasang pada *stationary platen* ialah bagian *mold* yang diam. *Mold* yang digunakan harus menentukan jenis konstruksi tergantung pada produk yang akan dibuat, karena pada setiap produk yang akan diproduksi mempunyai karakteristik tersendiri.

Karakteristik produk seperti *appearance*, dimensi, toleransi, letak *undercut*, bentuk geometri secara umum dan fungsi dari *mold* yang akan digunakan (Hidayat, 2017).

2.5 Poly Lactic-Acid (PLA)

Berdasarkan bahan penyusunnya plastik sulit untuk diuraikan, sehingga ditemukan plastik yang dapat diuraikan oleh aktivitas mikroba yang disebut plastik *biodegradable* (Kershaw, 2015). Plastik *biodegradable* terbuat dari organisme hidup yang dapat diperbaharui dan bioplastik dapat terdegradasi lebih cepat karena sifatnya yang ramah terhadap lingkungan. Namun harga plastik *biodegradable* lebih mahal daripada plastik *non-biodegradable* karena teknologinya yang belum berkembang luas (Kamsiati, 2017). Jenis plastik *biodegradable* dapat dikelompokkan ke dalam beberapa jenis untuk mengetahui cara penggunaannya ditunjukkan pada Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2. 3 Jenis plastik *biodegradable* dan penggunaannya

No.	Jenis Plastik	Penggunaannya
1	<i>Starch-based plastic</i>	Pembungkus buah (<i>fruit bag</i>) dan bahan kapsul obat
2	<i>Cellulose-based plastics</i> (<i>cellulose acetate</i>)	Bahan tekstil, plastik film, dan <i>filter</i> rokok
3	PLA (<i>Polylactic acid</i>)	Pot tanaman, <i>mulch films</i> , dan <i>plantation tray</i>
4	PHA (<i>Polyhydroxylalkanoates</i>)	Kemasan, peralatan kesehatan & farmasi, material pelapis, dan produk kosmetik

*) (Wijayanti, 2016)

Poly-lactic acid (PLA) termasuk kedalam kategori plastik yang *bio-plastic* dan *bio-degradable*. PLA ditemukan pada tahun 1932 oleh Carothers yang terbentuk melalui sintesis kimia dari monomer yang *bio-based*. Bahan baku PLA berpotensi dari biomassa nabati antara lain pati singkong, biji kapas, jagung, tebu, selulosa dan lain-lain. PLA memiliki berat molekul yang tinggi

dengan nilai diatas 100 gr/mol yang memiliki kesamaan dengan *polystyrene* dalam hal material termoplastik, tidak berwarna, mengkilap dan kaku. Adapun sifat-sifat fisik dari PLA akan dijelaskan dalam Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2. 4 Sifat-sifat fisik dari PLA

Sifat fisik	Satuan	Nilai
<i>Specific Gravity</i>	-	1.27
Densitas Padat	g/cm ³	1.2515
Titik Didih	°C	165
Daya Tarik	MPa	59
Modulus Elastisitas	MPa	3500
<i>Modulus Young</i>	Mpa	1280
Persen Pemanjangan	%	11.3

*)(Wijayanti, 2016)

2.6 Kopi

Salah satu jenis tanaman perkebunan yang dibudidayakan serta memiliki nilai ekonomis yang tinggi ialah kopi. Kopi terdiri dari kopi robusta dan kopi arabika dimana konsumsi kopi di dunia mencapai 70% dari kopi arabika dan 26% dari kopi robusta. Kopi sendiri terkenal setelah tanaman yang berasal dari Afrika ini dikembangkan diluar daerah asalnya, yaitu Yaman dibagian selatan Arab. Tahun 1900 kopi mulai masuk ke Indonesia dengan jenis kopi robusta yang berasal dari Kongo. Kopi robusta memiliki keunggulan dengan cepat berkembang sehingga menjadi jenis tanaman yang mendominasi perkebunan di Indonesia sampai saat ini (Setiawan, 2016).

Perkembangan kopi yang pesat di Indonesia dimana setiap daerah terdapat *coffe shop* yang dapat menyebabkan adanya limbah bubuk kopi bekas dalam jumlah banyak. Limbah kopi bekas sendiri mengandung jumlah besar senyawa organik seperti asam lemak, lignin, selulosa dan lainnya. Pengolahan kopi secara basah merupakan alternatif untuk mengurangi limbah, namun menghasilkan jumlah besar air limbah hasil pengolahan kopi. Limbah kopi bekas walaupun kaya akan bahan organik, senyawa organik dan anorganik dalam larutan, namun berpotensi tinggi

terhadap pencemaran lingkungan sehingga harus diberi perlakuan sebelum dilepaskan ke lingkungan (Rahardjo, 2012).

2.7 Komposit Partikel

Partikel besar dan *dispersion-strengthened* adalah dua subklasifikasi komposit yang diperkuat partikel. Perbedaan ini didasarkan pada penguatan atau mekanisme penguatan. Istilah partikel besar digunakan untuk menunjukkan bahwa interaksi partikel matriks tidak diperlukan pada atom atau tingkat molekular, melainkan mekanika kontinum yang digunakan. Untuk sebagian besar komposit ini, fase partikulat lebih keras dan kaku dari matriks. Partikel penguat ini cenderung menahan pergerakan fase matriks di sekitar masing-masing partikel. Pada intinya, matriks mentransfer beberapa tekanan yang diterapkan ke partikel yang menanggung sebagian kecil dari beban. Tingkat penguatan atau peningkatan mekanik perilaku tergantung pada ikatan yang kuat antarmuka matriks-partikel (Callister, 2010).

2.8 Cacat pada Hasil *Injection Molding*

Sebuah kerusakan yang diakibatkan tidak sesuainya parameter operasi pada proses *injection molding*, maupun prosedur proses pelaksanaan produksi yang dapat mengakibatkan hasil dari produk kurang sempurna atau mengalami kecacatan. Adapun faktor penyebab produk hasil dari *injection molding* yaitu kualitas dari material polimer, kecocokan dari material tambahan, kondisi saat proses, perawatan dari cetakan serta mesin *injection molding*, desain dari *runner*, instalasi dari temperatur dan cetakan, desain dari cetakan, posisi *gate* dan ukurannya, saluran udara, posisi *ejector* dan tidak meratanya dari desain *colling* pada cetakan. Cacat pada produk hasil *injection molding* yang sering ditemukan sebagai berikut :

1. *Short shot*

Cacat pada hasil produk yang ditandai dengan adanya rongga udara. Cacat ini disebabkan oleh pengisian biji polimer yang kurang sempurna sehingga *cavity* tidak terisi penuh oleh *filler*.

2. *Sink mark*

Cacat pada hasil produk yang ditandai dengan adanya cekungan pada permukaan produk. Cacat ini disebabkan karena perbedaan temperatur pada dinding cetakan sehingga beberapa sisi dari *cavity* sudah mengeras.

3. *Warpage*

Cacat pada hasil produk yang ditandai dengan adanya penyusutan yang tidak merata sehingga mengalami perubahan dimensi, ketebalan dan bentuk suatu produk. Cacat ini disebabkan karena *colling time* yang terlalu pendek serta kurangnya kekakuan struktural pada produk dan aliran. Nilai penyusutan biasanya ditunjukkan dalam satuan %, adapun rumus yang digunakan untuk mengukur nilai penyusutan sebagai berikut:

$$\text{Penyusutan} = \frac{L_m - L_p}{L_m} \times 100 \% \quad (2.4)$$

4. *Weld mark or flow mark*

Cacat pada hasil produk yang ditandai dengan adanya garis pada permukaan produk. Cacat ini disebabkan oleh temperatur leleh yang rendah serta keluarnya udara yang kurang dari cetakan.

5. *Discolored molding*

Cacat pada hasil produk yang ditandai dengan terjadinya perubahan warna pada produk. Cacat ini disebabkan oleh temperatur leleh yang tinggi serta pencampuran dua material yang tidak merata.

6. *Air bubble*

Cacat pada hasil produk yang ditandai dengan adanya gelembung udara atau air pada permukaan produk. Cacat ini disebabkan oleh temperatur dari material yang sangat tinggi dan terlalu kecilnya lubang udara (*vent*) (Saputra, 2019).

2.9 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah penelitian terdahulu yang ditampilkan pada Tabel 2.5 sebagai acuan yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu

Nama dan Tahun Publikasi	Judul Referensi	Variabel Kontrol	Variabel Independent	Variabel Dependent
Mahrus Ali Fatoni (2019)	Perancangan dan Fabrikasi Mesin <i>Single Crew Extruder</i> untuk Daur Ulang Plastik pada <i>Filament Feed 3D Printing</i>	<i>Bulk Density</i> Daur Ulang LDPE dan <i>Dies</i>	Dimensi dari Mesin dan Parameter Operasi Mesin	Geometri Desain <i>Single Crew Extruder</i> Aktual, Kapasitas Produksi dan Hasil Filamen
Erick O. Cisneros-López, dkk (2019)	<i>Recycled Poly (Lactic Acid) based 3D Printed Sustainable Biocomposites: A Comparative Study with Injection Molding</i> Metode Pengujian : Eksperimen	<i>3D Printing and Injection Molding</i>	70% PLA/30% RPLA); 70% PLA/30% RPLA/0.5 phr chain extender and 95% [70% PLA/30% RPLA]/5% micro crystalline cellulose (MCC)/0.5 phr chain.	<i>Surface morphology, density, mechanical properties, differential scanning calorimetry (DSC), heat deflection temperature (HDT), dynamic mechanical analysis (DMA) and rheology.</i>
Riky Adhianto, dkk (2017)	Studi Rancang Bangun Mesin <i>Benchmark Injection Molding</i> Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Botol Plastik	Desain mesin, sub fungsi bagian-bagian dari mesin, kapasitas injeksi, sistem pemanas, dan sistem kontrol	-	Mesin <i>benchmark injection molding</i> , nilai tekanan injeksi dan nilai kecepatan <i>output</i> aliran
Indra Mawardi, dkk (2015)	Analisis Kualitas Produk dengan Pengaturan Parameter Temperatur Injeksi Material Plastik	Mesin injeksi manual sistem <i>toggle</i> dan dimensi produk berupa gantungan baju.	Variasi temperatur injeksi sebesar 160 °C, 165 °C, dan 170 °C.	Hasil produk dari polimer <i>polypropylene (PP)</i>

Nama dan Tahun Publikasi	Judul Referensi	Variabel Kontrol	Variabel Independent	Variabel Dependent
	<i>Polypropylene (PP)</i> Pada Proses <i>Injection Molding</i> Metode Pengujian : Eksperimen			

