

STUDI EKSPERIMENTAL PENINGKATAN TEMPERATUR TERHADAP HASIL INJEKSI MOLDING PLASTIK PE, PP, DAN HDPE

Muhammad Ikhsan^{1*}, Muhammad Aqdar Fitrah², Sura Prawira³

Politeknik Bosowa / Makassar¹

Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng /Bantaeng²

Politeknik Negeri Ujung Pandang /Makassar³

Kontak Person:

Muhammad Ikhsan / 082386887831

Jl. Kapasa Raya No.23, Telp/Fax Institusi/Afiliasi

*Corresponding Author E-mail: Muhammad.ikhsan@politeknikbosowa.ac.id

Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan studi pengaruh suhu dan tekanan terhadap hasil injeksi molding pada jenis plastik dengan bahan yang mudah didapatkan. Penggunaan mesin injeksi molding plastik ini di gunakan untuk menunjang proses produksi yang lebih cepat. Untuk itu dalam studi ini menjelaskan efek hasil cetakan plastik yang dihasilkan dari mesin injeksi molding yang dipengaruhi oleh temperature, tekanan dan faktor lainnya yang dapat mempengaruhi terjadinya cacat produk pada proses injeksi plastik. Jenis plastik, yang di uji yaitu polyethylene, polypropylene, High-density polyethylene. Berdasarkan hasil studi kegagalan produk pada plastik yang disebabkan oleh temperature yang lebih rendah akan mengakibatkan biji plastik tidak meleleh sempurna dan cacat short shoot pada plastik. Dalam mencetak produk plastik juga perlu diperhatikan nilai tekanan operasi. Tekanan injeksi yang terlalu kecil juga akan menyebabkan cacat short shoot pada bagian plastik karena bagian biji plastik tidak memenuhi ruang molding. Selain itu, cekaman molding juga dapat menjadi faktor terjadinya cacat produk pada plastik. Bila cekaman molding rendah dibandingkan tekanan dorong maka akan menyebabkan flashing pada produk plastik. Dari hasil tersebut, biji plastik akan tercetak dengan baik bila berada pada area titik operasi.

Kata kunci: Injeksi Molding, Plastik, Temperatur, Tekanan

1. Pendahuluan

Injection molding adalah proses manufaktur yang digunakan untuk membuat produk dari plastik dengan cara memasukkan bahan plastik cair ke dalam cetakan, kemudian didinginkan dan dikeraskan untuk membentuk objek yang diinginkan. Proses ini sangat umum digunakan dalam industri untuk produksi massal berbagai produk plastik, termasuk komponen elektronik, mainan, alat kesehatan, kemasan makanan, dan produk rumah tangga.

Proses injection molding plastik biasanya dilakukan secara otomatis menggunakan mesin cetakan yang dirancang khusus. Ini memungkinkan produksi dalam jumlah besar dengan biaya yang relatif efisien. Keunggulan proses ini termasuk kecepatan produksi yang tinggi, akurasi bentuk yang tinggi, dan kemampuan untuk menghasilkan produk dengan berbagai kompleksitas desain.

Cetakan injeksi telah menjadi metode yang paling populer untuk membuat produk plastik karena efisiensi dan manufakturabilitasnya yang tinggi. Proses pencetakan injeksi meliputi tiga tahap penting: tahap pengisian dan pengepakan, tahap pendinginan, dan tahap eaksi. Di antara tahapan-tahapan tersebut, tahapan pendinginan sangat penting karena terutama mempengaruhi produktivitas dan kualitas cetakan.[1]

Proses injeksi dilakukan dengan proses pencairan biji plastik diakibatkan oleh suhu yang meningkat pada nozzle karena perambatan panas yang dihasilkan oleh heater. Sehingga, nozzle ikut mengalami pemanasan yang tinggi menghasilkan cairan plastik yang telah siap di injeksi. Proses dorongan yang dilakukan biasanya menggunakan ekstruder ataupun dorongan dari sistem tekanan pada silinder pneumatik. Pneumatik adalah bidang pengetahuan yang membahas tentang pergerakan udara, keseimbangan udara, dan kondisi-kondisi keseimbangan tersebut. Kata "pneumatik"

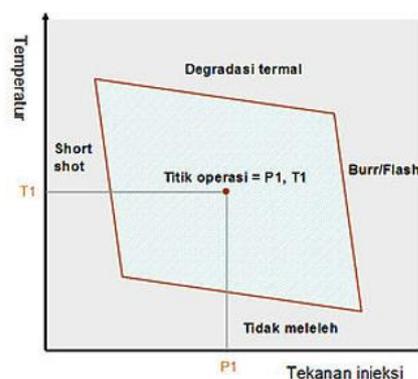
berasal dari bahasa Yunani "pneuma" yang berarti "napas" atau "udara". Jadi, dalam konteks ini, pneumatik mengacu pada sesuatu yang diisi oleh udara atau digerakkan oleh udara bertekanan. [2]

Cetakan injeksi digunakan untuk memproduksi komponen dalam jumlah besar dengan pengulangan yang tinggi. Itu juga digunakan dalam memproduksi komponen rumit untuk berbagai industri di seluruh dunia. Keunggulan bagian-bagian tergantung pada butiran/ biji plastik, alat dan desain bagian. Jika tidak ada konsistensi dalam dimensi bagian, hal itu menyebabkan penyusutan pada bagian yang dicetak. Penyusutan selalu diperhatikan dalam desain cetakan awal produk dan bahan baku juga perlu diperhatikan sesuai cetakan yang digunakan untuk menghindari kelengkungan bagian setelah pencetakan. Faktor penyusutan dapat dikendalikan dengan mengoptimalkan parameter proses dan juga selama persiapan awal desain cetakan dan pemilihan baja untuk bagian tersebut.

- Tekanan injeksi rendah
- Waktu pendinginan
- Temperatur leleh yang tinggi
- Tekanan penahan rendah

Telah banyak penelitian yang dilakukan tentang pengaruh penyusutan menggunakan parameter cetakan molding. Parameter cetakan memainkan peran besar dalam mempengaruhi kualitas bagian. Ada banyak parameter proses yang berpengaruh signifikan terhadap penyusutan bagian, Telah direkomendasikan untuk melakukan optimalisasi proses dan desain eksperimental harus dilakukan untuk mendapatkan bagian yang berkualitas dari injection molding. [3]

Ada banyak faktor yang menyebabkan kegagalan dalam produk cetakan plastik. Faktor kegagalan yang dapat terjadi pada proses produksi plastik bisa karena bentuk cetakan mold, biji plastik itu sendiri, waktu dan temperatur. Bila suhu proses terlalu rendah, ada potensi bahwa bahan tidak akan meleleh dengan baik. Sebaliknya, jika bahan meleleh, viskositasnya akan sangat tinggi dan membutuhkan tekanan injeksi yang tinggi. Jika tekanan injeksi terlalu tinggi, dapat menyebabkan timbulnya flash atau burr di sepanjang garis pemisah cetakan karena gaya pemegang cetakan yang lebih rendah dari tekanan injeksi. Dan jika suhu proses terlalu tinggi, bahan dapat mengalami kerusakan atau terbakar. [4]



Gambar 1. Karakteristik area lelehan biji plastik

Factor penurunan suhu yang dialami dari cairan plastik memiliki pengaruh besar terhadap hasil cetakan. Efisiensi dari sistem pendingin pada proses injection moulding mempengaruhi waktu siklus dan kualitas produk plastik. Langkah ini harus sesingkat mungkin dan mampu mencapai pertukaran panas yang homogen antara bagian plastik dan cetakan.[5]

Ada beberapa jenis cacat yang sering diidentifikasi dalam proses produksi plastik yang sering diidentifikasi:

1. Warping (Pengelembungan): Cacat ini terjadi ketika produk plastik mengalami deformasi atau pengelembungan yang tidak diinginkan setelah dikeluarkan dari cetakan. Hal ini bisa disebabkan oleh tegangan internal yang tidak merata dalam bahan plastik akibat perbedaan suhu selama proses pendinginan.
2. Short Shot (Pengisian Tidak Cukup): Cacat ini terjadi ketika cetakan tidak terisi sepenuhnya oleh bahan plastik selama proses injeksi. Ini bisa terjadi karena aliran plastik terhambat atau waktu pengisian yang tidak memadai.
3. Sink Marks (Cekungan): Cacat ini muncul sebagai cekungan pada permukaan produk akhir. Biasanya terjadi ketika bagian produk yang lebih tebal mendingin lebih lambat daripada bagian yang lebih tipis, menyebabkan penyusutan dan cekungan.
4. Burn Marks (Tanda Pijar): Cacat ini terjadi ketika bahan plastik terbakar selama proses injeksi. Biasanya disebabkan oleh suhu cetakan yang terlalu tinggi, waktu residen plastik yang terlalu lama dalam cetakan, atau tekanan injeksi yang terlalu tinggi.
5. Voids (Ruang Kosong): Cacat ini muncul sebagai ruang kosong di dalam produk plastik akhir. Hal ini bisa disebabkan oleh udara yang terperangkap selama proses pengisian, kelebihan tekanan, atau ketidaksesuaian antara desain cetakan dan material yang digunakan.
6. Flash (Kilap): Cacat ini terjadi ketika bahan plastik meluap dari celah cetakan dan membentuk "kilap" yang berlebihan pada produk akhir. Biasanya disebabkan oleh tekanan injeksi yang terlalu tinggi atau ketidaksempurnaan cetakan.
7. Gate Blush (Goresan Pintu Injeksi): Cacat ini muncul sebagai goresan atau bekas pintu injeksi pada permukaan produk akhir. Hal ini bisa terjadi karena kekasaran atau ketidaksempurnaan pada pintu injeksi, suhu yang tidak tepat, atau tekanan injeksi yang tidak seimbang.

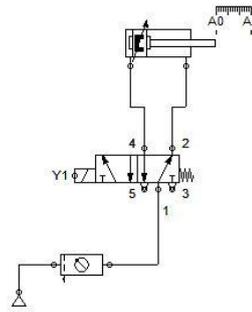
Cacat-cacat ini dapat diatasi dengan melakukan penyesuaian parameter proses injeksi, desain cetakan yang baik, dan pemilihan material yang tepat. Penting untuk melakukan analisis dan pengawasan yang cermat selama proses injeksi molding plastik untuk menghindari dan meminimalkan cacat yang mungkin muncul.

Berbagai macam jenis plastik yang biasanya digunakan dalam kehidupan rumah tangga, jenis jenis plastik yang digunakan yaitu berbahan HDPE, PP, dan PE. Polypropylene (PP) merupakan bahan yang baik untuk kemasan makanan karena memiliki beberapa keunggulan. Plastik PP sering digunakan karena memiliki sifat-sifat khusus. Permukaan plastik PP halus, tahan terhadap bahan kimia, memiliki fleksibilitas dan kekuatan yang tinggi, mudah didaur ulang, dan memiliki kemampuan isolasi listrik. Selain itu, plastik PP memiliki harga yang lebih terjangkau dibandingkan dengan bahan plastik lainnya. Sementara itu, Polyethylene (PE) adalah jenis plastik yang terbuat dari senyawa etilen. Plastik PE sangat populer digunakan karena ringan, kuat, tahan terhadap air dan bahan kimia, serta mudah didaur ulang. Kelebihan lain dari plastik PE adalah rendahnya permeabilitas gas, sehingga cocok digunakan untuk membungkus atau menyimpan makanan yang memerlukan perlindungan terhadap oksigen dan kelembaban. [6]. High Density Polyethylene (HDPE) adalah salah satu jenis polimer termoplastik dari keluarga polyethylene dengan kode daur ulang 2. HDPE memiliki densitas yang tinggi dan struktur molekul yang membentuk rantai panjang yang tersusun secara jarang dan terpisah, menghasilkan plastik yang lebih padat dan keras. [7].

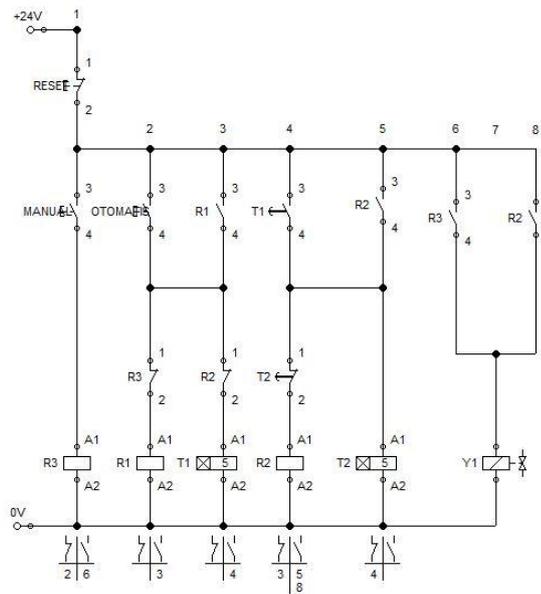
2. Metode Penelitian

Alat injeksi plastik yang digunakan dengan tipe D-6991 Igershim brand Teforma Maschinenbau GmbH. Unit Injeksi yang digunakan memiliki bagian bagian yang terdiri dari : Silinder Pendorong, Bagian air regulator, hopper, band heater, dan nozzle.

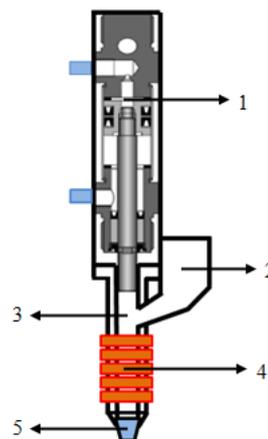
Unit injeksi adalah salah satu bagian dari mesin injeksi plastik yang digunakan sebagai alat pendorong untuk menginjeksi cairan plastik yang telah mengalami peleburan pada nozzle mesin. Pada unit injeksi terjadi proses peleburan material berupa pelet plastik, yang merupakan tahapan tahap pertama sebelum resin plastik cair diinjeksikan ke dalam cetakan untuk menghasilkan produk cetakan yang diinginkan.



Gambar 2. Skematik aliran udara pada torak silinder



Gambar 3. Skematik rangkaian elektropneumatik

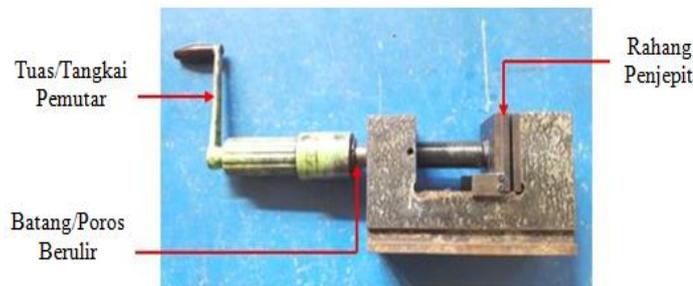


Gambar 4. Bagian Bagian pada torak silinder pneumatik pada mesin Injeksi molding

Di dalam mesin Injeksi ada beberapa bagian yang terdiri dari :

- 1) Silinder pneumatik, untuk menginjeksikan bahan plastik pada silinder pemanas ke dalam cetakan (mould).
- 2) hopper, sebagai tempat menampung wadah atau bahan resin plastik.
- 3) Cylinder heating (silinder pemanas), untuk memanaskan bahan resin plastik.
- 4) Elemen pemanas (band heater), untuk memanaskan pemanas dinding silinder (heating cylinder).
- 5) Nozel, bagian ujung silinder pemanas membentuk rongga yang dilalui bahan plastik cair.

Mold clam unit pada mesin cetak plastic pin/ring adalah catok. Secara fungsional visus digunakan sebagai alat untuk menjepit benda kerja. Pada mesin cetak pin/ring plastik digunakan sebagai pencekam catok atau penjepit cetakan (mould).



Gambar 5. Cekaman ragum



Gambar 6. Cetakan molding plastik

Berikut adalah langkah-langkah dalam proses injection molding plastik:

1. Persiapan bahan: Bahan plastik yang sesuai dipilih dan kemudian diproses menjadi bentuk butiran atau pelet yang dapat dilelehkan dengan mudah.
2. Pemanasan dan pelelehan: Bahan plastik pelet dimasukkan ke dalam unit injeksi mesin cetakan. Di dalam mesin, bahan plastik dipanaskan hingga suhu tinggi sehingga meleleh menjadi bentuk cair.
3. Injeksi: Setelah bahan plastik mencair, sistem injeksi mendorong cairan plastik ke dalam cetakan yang memiliki rongga yang sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan. Cairan plastik mengisi cetakan dan mengambil bentuk cetakan tersebut.
4. Pendinginan dan pengerasan: Setelah cetakan terisi penuh, bahan plastik didinginkan dengan menggunakan air atau sistem pendingin lainnya. Proses pendinginan membantu bahan plastik membeku dan mengeras dalam bentuk yang diinginkan.

5. Pembukaan cetakan: Setelah bahan plastik mengeras, cetakan dibuka dan produk plastik yang jadi dihapus dari cetakan. Produk tersebut kemudian diperiksa untuk memastikan kualitas dan akurasi bentuknya.
6. Finishing: Produk plastik yang dihasilkan mungkin memerlukan beberapa tahap finishing, seperti pemotongan, pengeboran lubang, pemasangan komponen tambahan, atau proses lainnya untuk menghasilkan produk jadi.

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam percobaan, dapat dilihat perbandingan berdasarkan karakteristik yang telah dijelaskan sebelumnya. Pengujian hasil produk ini dilakukan untuk mengetahui keadaan (cacat tidaknya) produk molding yang dihasilkan dari setiap pengujian yang dilakukan berdasarkan tekanan udara dan temperature cair yang digunakan.

Perhitungan gaya torak silinder pneumatik kerja ganda berdasarkan tekanan udara (P) yang digunakan. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui besarkan gaya torak langkah maju yang terjadi berdasarkan tekanan udara (P) yang digunakan. Dengan rumus dasar :

$$F = P \times A$$

Dimana, $A = \frac{\pi}{4} d^2$, Sedangkan untuk gaya efektif torak dapat dihitung menggunakan Rumus sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$F_{ef} = F - F_g$$

$$F_g = 10 \% F$$

Adapun hasil produk dari ketiga jenis biji plastik pada pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 1. berikut ini.

Tabel 1. Hasil Uji Eksperimen injeksi molding plastik

No.	Tekanan Udara (P)	Temperature (°C)	Gaya Efektif Torak (Fef)	Hasil Molding
1	2	100	45,7	 <p>Terdapat banyak cacat sink mark (cekungan/lengkungan pada permukaan produk)</p>
2	3		68,6	

				Masih terdapat cacat sink mark (cekungan/lengkungan pada permukaan produk) dan Colour streaks (warna produk belang)
3	4		91,6	 <p>Permukaan produk sedikit kasar, namun rata.</p>
4	2		45,7	 <p>Terdapat cacat Flow mark (pola bergaris pada permukaan produk)</p>
5	3	150	68,6	 <p>Baik, permukaan produk halus dan rata</p>
6	4		91,6	 <p>Baik, permukaan produk halus dan rata</p>
7	2	200	45,7	 <p>Terdapat banyak sink mark (cekungan pada permukaan produk) dan weld line (aliran lelehan pada permukaan produk)</p>

8	3		68,6	 <p>Terdapat bubbles (melepuh/gelembung udara yang terperangkap dalam produk) dan permukaan produk tidak rata.</p>
9	4		91,6	 <p>Baik, permukaan halus dan rata</p>
10	2		45,7	 <p>Terdapat bubbles (melepuh/gelembung udara yang terperangkap dalam produk)</p>
11	3	250	68,6	 <p>Bentuk tergolong baik, namun permukaan produk sedikit tidak rata</p>
12	4		91,6	 <p>Baik, permukaan halus dan rata</p>
13	2	300	45,7	

				 <p>Terdapat cacat flow mark (pola bergaris pada permukaan produk)</p>
14	3		68,6	 <p>Terdapat cacat sink mark (cekungan/lengkungan pada permukaan produk)</p>
15	4		91,6	 <p>Terdapat cacat flow mark (pola garis pada permukaan produk) dan permukaan tidak rata</p>
16	2	350	45,7	 <p>Terdapat bubbles (melepuh/gelembung udara yang terperangkap dalam produk dan terdapat sink mark (cekungan))</p>
17	3		68,6	 <p>Terdapat bubbles (gelembung udara yang terperangkap dalam produk)</p>

18	4		91,6	 <p>Terdapat sink mark (cekungan/lengkungan pada permukaan produk).</p>
----	---	--	------	--

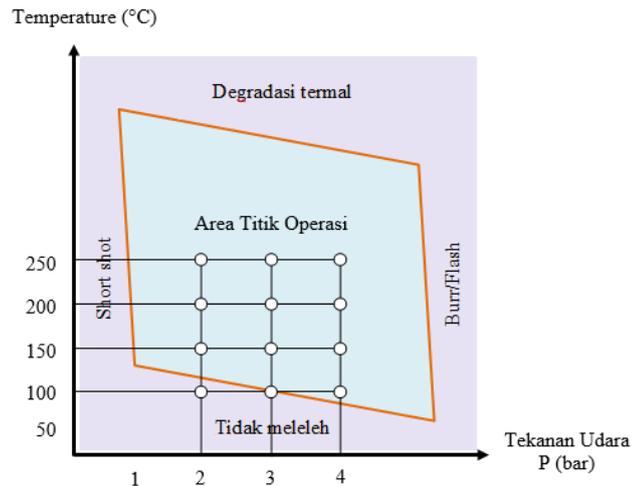
Pada pengujian yang dilakukan, digunakan 3 jenis material biji plastik yang berbeda. Seperti pada table 1, kami melakukan percobaan sebanyak 18 kali percobaan yang masing-masing menggunakan tekanan udara (P) dan temperature setting (°C) yang divariasikan. Untuk percobaan 1 sampai dengan percobaan 6 kami menggunakan material biji plastik jenis PE (PE 1) yang memiliki temperature cair 100°C s/d 150°C. Untuk percobaan 7 sampai dengan percobaan 12 menggunakan material biji plastik jenis PE (PE 2 Komposisi HD) atau HDPE yang memiliki temperature cair 180°C s/d 230°C. Untuk percobaan 13 sampai dengan percobaan 18 menggunakan material biji plastik jenis PP warna (Hijau sablon) yang memiliki temperature cair 180°C s/d 230°C.

Dari semua percobaan yang dilakukan beberapa percobaan mendapatkan hasil produk yang baik dengan permukaan produk yang halus dan rata, ada juga hasil produk yang cacat. Diantara jenis-jenis cacat yang ada pada produk molding, jenis cacat yang paling sering terjadi pada percobaan yang kami lakukan adalah jenis cacat short shot (cairan plastik yang tdk memenuhi cetakan), adapun jenis cacat lain yang juga terjadi adalah sink mark (cekungan/lengkungan pada permukaan produk), flow mark (pola bergaris pada produk), weld line (aliran lelehan pada permukaan produk), colour streaks (warna lain pada produk), dan bubbles (gelembung yang terperangkap pada produk).

Penyebab terjadinya jenis cacat yang kami sebutkan di atas diakibatkan karena beberapa hal diantaranya sebagai berikut :

- 1) Tidak melelehnya secara keseluruhan biji plastik yang ada pada silinder pemanas.
- 2) Suhu yang di setting terlalu tinggi sehingga menyebabkan aliran lelehan biji plastik tidak sempurna.
- 3) Tekanan udara (P) yang digunakan untuk menginjeksikan cairan biji plastik terlalu rendah.

Gambaran untuk hasil produk injeksi molding mesin plastik type D-6991 Igershim merek Teform Maschinenbau GmbH tahun 1988, berdasarkan tekanan udara (P) dan temperature (°C) yang digunakan pada setiap percobaan yang dilakukan, dapat dilihat pada grafik molding area diagram pada gambar 6. di bawah ini.



Gambar 7. Area Titik lelehan bahan plastic

Berdasarkan pada gambar 6, dapat diketahui bahwa hal yang dapat terjadi pada hasil produk molding mesin pencetak pin/ring plastik adalah sebagai berikut:

- 1) Apabila temperature ($^{\circ}\text{C}$) memiliki nilai yang kecil maka produk molding berada pada area tidak meleleh/meleleh sebagian.
- 2) Apabila tekanan udara (P) memiliki nilai yang kecil maka produk molding berada pada area cacat Short Shot (cairan biji plastik tidak memenuhi cetakan pada saat di injeksi).
- 3) Apabila tekanan udara (P) memiliki nilai yang besar maka produk molding berada pada area cacat Burr/Flash (terdapat material lebih yang ikut membeku pada saat di injeksi). Hal ini bisa juga disebabkan karena cekaman mold yang rendah dibandingkan daya dorong torak yang lebih besar.

4. Kesimpulan

Berdasarkan studi yang dilakukan nilai temperature akan sangat mempengaruhi tingkat kesempurnaan hasil cetakan. Nilai suhu yang terlalu tinggi menyebabkan terjadinya perubahan warna. Semakin tinggi nilai suhu hasil cetakan akan semakin berwarna gelap. Semakin rendah nilai suhu maka warna hasil cetakan semakin pucat. Produk plastik juga akan mengalami cacat ketika dipengaruhi oleh tekanan pendorong, bila nilai tekanan dorongan dari torak silinder kecil. Maka, plastik cair tidak dapat diinjeksi secara sempurna di dalam ruang molding / cetakan. Sehingga, plastik mengalami cacat short shoot. Namun, ketika dorongan torak terlalu besar dan cekaman mold yang kecil akan mengakibatkan burr / flash pada plastik. maka dari itu, faktor cekaman mold juga perlu di perhatikan pada saat proses injeksi plastik.

Referensi :

- [1] Park, H. S., & Dang, X. P. (2017). Development of a smart plastic injection mold with conformal cooling channels. *Procedia Manufacturing*, 10, 48-59.
- [2] Krist, T., & Ginting, D. (1993). *Dasar-Dasar Pneumatik*. Erlangga, Jakarta.
- [3] Sreedharan, J., & Jeevanantham, A. K. (2018). Analysis of shrinkages in ABS injection molding parts for automobile applications. *Materials Today: Proceedings*, 5(5), 12744-12749.
- [4] Harper, C. A. (2000). *Modern plastics handbook*. McGraw-Hill Education.
- [5] Marin, F., de Souza, A. F., Ahrens, C. H., & de Lacalle, L. N. L. (2021). A new hybrid process combining machining and selective laser melting to manufacture an advanced concept of conformal cooling channels for plastic injection molds. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 113, 1561-1576.
- [6] Deglas, W. (2023). PENGARUH JENIS PLASTIK POLYETHYLENE (PE), POLYPROPYLENE (PP), HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE), DAN OVERHEATED POLYPROPYLENE (OPP) TERHADAP KUALITAS BUAH PISANG MAS. *Agrofood*, 5(1), 33-42.
- [7] Xavier, S. F. (Ed.). (2022). *Thermoplastic Polymer Composites: Processing, Properties, Performance, Applications and Recyclability*. John Wiley & Sons.