

Pengujian *Prototype* Mesin Injeksi *Plastic Molding* Manual *Double Barrel* Kapasitas 5 TF

Marselino Matahelumual* dan Muslimin

Program Studi Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur, Jurusan Pascasarjana, Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

* E-mail: marselinomatahelumualtm23@stu.pnj.ac.id

Diajukan: 11-01-2024; Direvisi: 20-08-2024; Dipublikasi: 31-08-2024

Abstrak

Metode injeksi plastik adalah teknik untuk menghasilkan produk plastik dengan sifat dan dimensi yang berbeda. Produk dibuat dari kombinasi bahan berupa butiran material plastik, yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan termoplastik jenis *polypropylene* (PP), bahan ini menjadi lunak saat dipanaskan dan sebaliknya menjadi keras kembali saat didinginkan. Konversi bahan baku ini hanya bersifat fisik dan bukan konversi kimia, sehingga bahan baku tersebut dapat didaur ulang jika diperlukan. Titik leleh bahan baku plastik di dalam silinder pemanas adalah antar 117 °C dan 274 °C atau seperti yang direkomendasikan oleh produsen plastik. Injeksi plastik harus memenuhi persyaratan seperti bentuk, ukuran dan penampilan yang baik atau tidak memiliki cacat pada hasil akhir injeksi produk seperti cacat *short shots*, cacat *flashing*, cacat *sink marks*, cacat *flow mark* dan *weld lines*. Proses injeksi produk plastik memerlukan pengaturan parameter yang optimal yaitu *temperature* pemanasan, titik lebur, pendinginan, waktu tinggal dan kecepatan injeksi. Sehingga dalam pengujian menggunakan mesin injeksi *plastic molding* manual *double barrel* kapasitas 5 tf (*ton-force*). 5 tf atau 5000 kg yaitu kekuatan pejepit pada *molding*, wajib mendapatkan variasi suhu yang pantas dan pengaturan parameter yang optimal, agar mendapatkan hasil injeksi yang sempurna, dalam penelitian ini cara yang dipakai ialah cara eksperimen terdiri dari variasi *temperature* suhu 160°C, 180°C dan 200°C yang dilakukan sebanyak tiga kali eksperimen pada setiap variasi suhunya. Sesudah melakukan penelitian mendapatkan hasil produk yang sempurna setelah dibersihkan yaitu, pada pengujian suhu 180°C, karena hanya terjadi minor cacat *flashing* pada produk akhir. Rendah dan tingginya pengaturan suhu *heater* pada penelitian ini sangat berpengaruh pada hasil akhir produk.

Kata kunci: Suhu; cetakan injeksi; polipropilena

Abstract

The plastic injection method is a technique for producing plastic products with different properties and dimensions. The product is made from a combination of materials in the form of particle plastic material, which is used in this study is a thermoplastic polypropylene (PP) type material, this material becomes soft when heated and vice versa becomes hard again when cooled. The conversion of these raw materials is only physical and not chemical conversion, so these raw materials can be recycled if necessary. The melting point of the plastic raw material in the heating cylinder is between 117 °C and 274 °C or as recommended by the plastic manufacturer. Plastic injection must meet requirements such as good shape, size and appearance or not have defects in the final injection product such as short shot defects, flashing defects, sink marks defects, flow mark defects and weld lines. The process of injection of plastic products requires optimal parameter settings, namely heating temperature, melting point, cooling, residence time and injection speed. So that in testing using a double barrel manual plastic injection molding machine with a capacity of 5 tf (*ton-force*). 5 tf or 5000 kg, namely the clamping force on the molding, must get a proper temperature variation and optimal parameter settings, in order to get perfect injection results, in this study the method used was an experimental method consisting of temperature variations of 160°C, 180°C and 200°C which were carried out three times in experiments at each temperature variation. After conducting research, we found perfect product results after cleaning, that is, at a temperature test of 180°C, because only minor flashing defects occurred in the final product. Low and high heater temperature settings in this study greatly affect the final product results.

Keywords: Temperature; injection molding; polypropylene

1. Pendahuluan

Pengoperasian mesin injeksi dalam pencetakan produk plastik membutuhkan beberapa parameter penting antara lain, titik lebur yang berkaitan dengan suhu pemanasan, pendinginan, waktu tinggal dan kecepatan injeksi, beberapa parameter tersebut sangat mempengaruhi hasil akhir dari produk [1-3].

Prototype mesin injeksi *plastic molding* manual *double barrel* kapasitas 5 TF dapat dilihat pada Gambar 1, digunakan untuk pembuatan produk plastik, dimana material plastik yang dipanaskan sampai mencapai titik leleh kemudian diinjeksikan kedalam cetakan tertutup menjadi bentuk atau aplikasi yang diinginkan oleh konsumen, mesin ekstruder ini dirancang jalur laju materialnya dari *horizontal* ke *vertical* dan ke *horizontal*, sehingga membutuhkan *heater* pada setiap jalurnya.

Material dasar untuk proses injeksi ini adalah bahan biji plastik tulen atau dicampur dengan bahan plastik *recycle* [4]. Secara keseluruhan material plastik yang bersumber dari biji plastik tulen memiliki kualitas otensitas amat tinggi, sehingga harga materialnya *relatively* mahal di golongannya (resin plastik), tetapi material dengan biji plastik tulen ini dijamin murni karena terbuat dari *petroleum* dan metana (CH_4), keunggulan biji plastik tulen ini mempunyai *extrusion* yang lebih stabil serta tidak mengubah komposisi molekulnya saat dipansakan [5-6].



Gambar 1. *Prototype* mesin injeksi *plastic molding* manual *double barrel* kapasitas 5 TF

Timbulnya kesalahan hasil selama proses produksi (kontinyu) meyebabkan terjadinya perubahan produk akhir. Salah satu perspektif terpenting dari industri pengolahan adalah produksi berkelanjutan serta mampu menghasilkan produk akhir yang berkualitas tinggi. Sehingga pengendalian mutu secara terus menerus harus dilakukan, salah satunya adalah pengendalian kualitas di lini produksi (kontinyu) untuk menghilangkan cacat produk, sehingga lini produksi harus berhati-hati dan teliti saat melakukan diagnostik dan penyesuaian untuk memastikan bahwa produk akhir memenuhi spesifikasi pengguna [7-9].

Dalam perhitungan waktu *cooling* optimal, variabelnya adalah waktu (t) yaitu sebesar 1 detik dan 2 detik, keduanya menunjukkan barang yang memenuhi standar paling optimal untuk berat produk akhir menurut standar *retail*, untuk tekanan silinder variable (P), terdiri dari dua variasi yaitu 145 bar dan 175 bar. Kedua variabel tekanan tersebut merupakan nilai yang paling optimal. Hal ini dapat disimpulkan dari 145 bar dan 175 bar yang menghasilkan lebih banyak produk akhir dari pada varian tekanan lainnya untuk standar produk yang relevan dan unggul, mengingat titik leleh *variable* yang *relative* efektif (terbaik) untuk mendapatkan berat produk dalam standar adalah suhu (T) sebesar $20^{\circ}C$, diambil kesimpulan dari jumlah barang yang sesuai dengan standar dengan menggunakan variasi 20° daripada menggunakan variasi suhu lain [10].

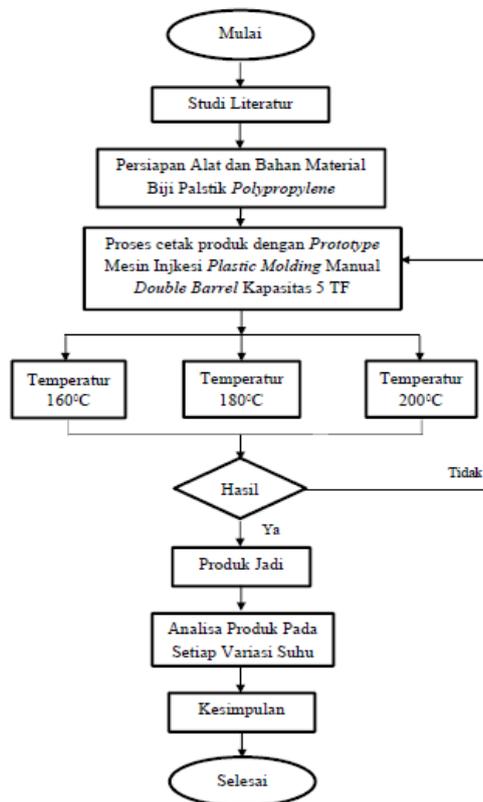
Cacat produk yang umum disebabkan oleh non-standarisasi parameter proses dan penggunaan metode coba-coba yang berkelanjutan, sehingga sesuai dengan parameter pengaturan yang tepat dalam cetakan injeksi menggunakan bahan baku *polypropylene* (PP) akan menghasilkan produk akhir yang baik sesuai dengan variasi produk yang diinginkan [11-12]. Berdasarkan permasalahan-permasalahan yang telah dibahas, menjadi acuan bagi penelitian ini, untuk meningkatkan hasil kualitas produk dengan mengurangi cacat pada produk berbahan PP selama proses pembuatan produk.

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini antara lain: Mendapatkan parameter suhu yang optimal, memahami dan menyelesaikan masalah kecacatan pada produk akhir dan menentukan total siklus injeksi

2. Material dan Metodologi

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin, kampus Politeknik Negeri Jakarta, menggunakan metode *experimental quantitative*, dengan melakukan pengujian pada suhu *barrel* dan *modal* untuk mendapatkan produk hasil injeksi *molding* berbahan plastik PP, serta pengamatan visual terhadap hasil akhir produk secara langsung, yang dimana penelitian dilakukan secara khusus dan sistematis terhadap suhu panas pada bagian *barrel* dan *modal*, dengan melakukan perlakuan dan pengamatan terhadap satu variabel [13]. Penelitian ini menggunakan material biji plastik PP dengan variasi suhu panas, 160°C, 180°C dan 200°C [14-15].

Setiap variabel dilakukan eksperimen sebanyak tiga kali, yang menjadi acuan data pada eksperimen yang ketiga, diambil datanya untuk dianalisis serta merumuskan hasilnya kedalam tabel, untuk mengetahui perbedaan setiap variabel, maka dilakukan proses *injection molding* [16]. Metode penelitian tersebut di tuangkan dalam diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 2.

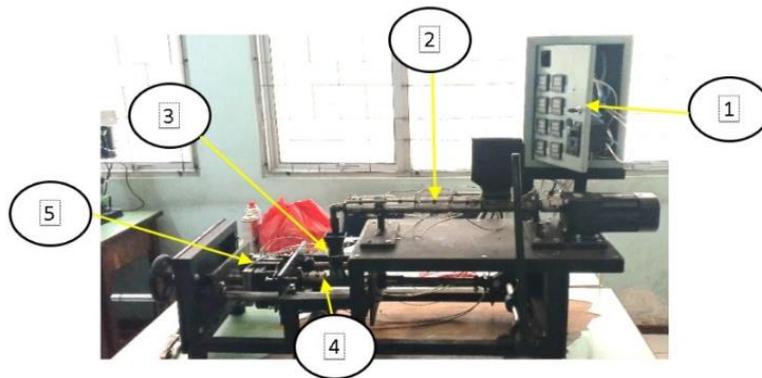


Gambar 2. Diagram alir penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Proses Produksi

Proses *starting* atau *running* dari mesin injeksi *plastic molding* manual *double barrel* kapasitas 5 tf ini, memiliki 10 buah *heater* yang terpasang pada mesin ekstruder ini. Satu kali pengujian membutuhkan material sebanyak 35 gr, suhu pendinginan jalur laju material cair dipertahankan konstan (Gambar 3) untuk proses injeksi [10; 17-18].



Gambar 3. Proses *starting* dan jalur laju material

Penomoran 1 pada Gambar 3 menunjukkan Panel boks yang di dalamnya terdapat sistem kontrol *proportional integral derivative* (PID) yang terpasang sebanyak delapan (8) buah dengan nomor urut PID yang disajikan pada Tabel 1. Penomoran 2 menunjukkan komponen *barrel* yang terpasang *heater* dengan spesifikasi M80 x 34, 220 V, 150 W. Pada diameter luar *barrel* berbentuk *horizontal* terpasang *heater* kesatu (1) sampai dengan *heater* keempat (4). Penomoran ke-3 merupakan komponen corong jalur material berbentuk vertikal dimana bagian luar corong jalur aliran material terpasang *heater* kelima. Sedangkan penomoran 4 adalah silinder penampung material dan nosel untuk proses injeksi dimana bagian luar silinder penampungan material terpasang *heater* keenam (6) dan *heater* ketujuh (7). Pada silinder bagian nosel sebelum proses injeksi terpasang *heater* kedelapan (8) dengan spesifikasi M80 x 34, 220 V, 150 W. Penomoran 5 adalah komponen *mold* dimana terdapat dua *heater* terpasang pada *mold*, *heater* kesembilan (9) di *mold core* dan *heater* kesepuluh (10) terpasang pada *mold cavity*. Kedua *heater* yang dipasang pada *mold* memiliki spesifikasi tipe M40 x 6, 220 V 100 W.

Proses temperatur menjadi panas pada mesin injeksi *plastic molding* manual *double barrel* kapasitas 5 tf, ini memakai energi elektrik [19-20], yaitu menggunakan *heater* berjumlah sepuluh (10) buah, yang tergolong dalam tiga (3) jenis *heater* yang berbeda dimensinya dengan pengontrolan suhu menggunakan sistim kontrol PID sebanyak delapan (8) buah, yang tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Urutan PID sebagai pengontrolan suhu *heater*

Nomor	Energi Elektrik (<i>Heater</i>)	Dimensi (Diameter x tinggi dalam satuan mm)	Kontrol Suhu (Urutan PID pada Panel)	Jumlah <i>Heater</i> (Buah)
1	<i>Heater</i> Nosel	M80 x 34, 220 V, 150 W	1-6	7
2	<i>Heater</i> Nosel	M80 x 34, 220 V, 150 W	6	1
3	<i>Heater Catridge</i>	M40 x 6, 220 V 100 W	7 dan 8	2

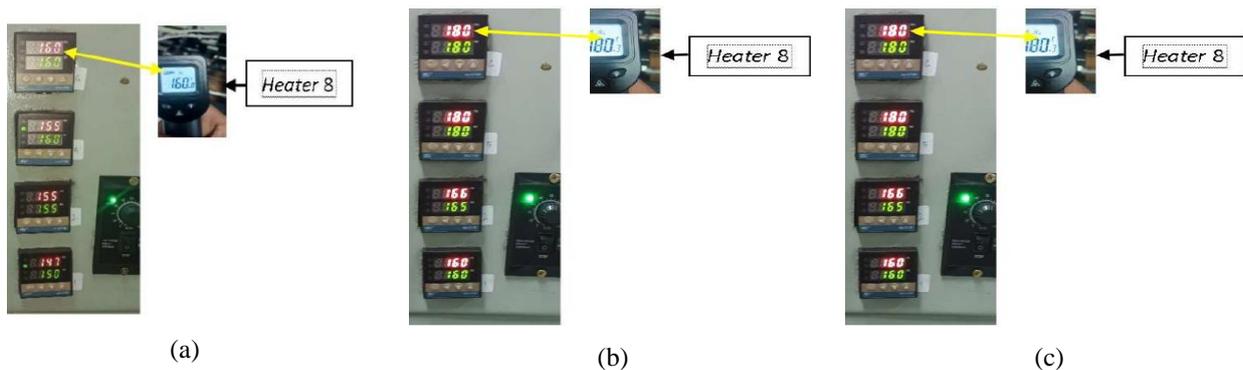
3.2. Pengujian Variasi Variabel

Pengujian variabel dilakukan pada suhu 160°C, 180 °C dan 200 °C. Acuan suhu yang diatur pada pengujian tersebut ada pada *heater* nomor 8. Tabel 2 menunjukkan suhu pengujian pada *heater* nomor 1-10 di masing-masing variasi suhu pengujian.

Tabel 2. Parameter mesin uji, suhu 160°C, 180 °C dan 200 °C

Parameter Uji Suhu 160°C		Parameter Uji Suhu 180°C		Parameter Uji Suhu 200°C	
Heater (Nomor)	Temperatur (°C)	Heater (Nomor)	Temperatur (°C)	Heater (Nomor)	Temperatur (°C)
1	150	1	160	1	200
2	155	2	165	2	200
3	155	3	170	3	200
4	155	4	180	4	200
5	160	5	180	5	200
6	160	6	180	6	200
7	160	7	180	7	200
8	160	8	180	8	200
9	30	9	35	9	40
10	50	10	55	10	60

Gambar 4 menunjukkan temperatur yang diinputkan pada sistem injection molding. Gambar 4 (a) merupakan temperatur heater nomor 8 pada percobaan dengan parameter mesin 160°C, sedangkan Gambar 4 (b) merupakan temperatur heater nomor 8 pada percobaan dengan parameter mesin 180°C dan Gambar 4 (c) merupakan temperatur heater nomor 8 pada percobaan dengan parameter mesin 200°C.

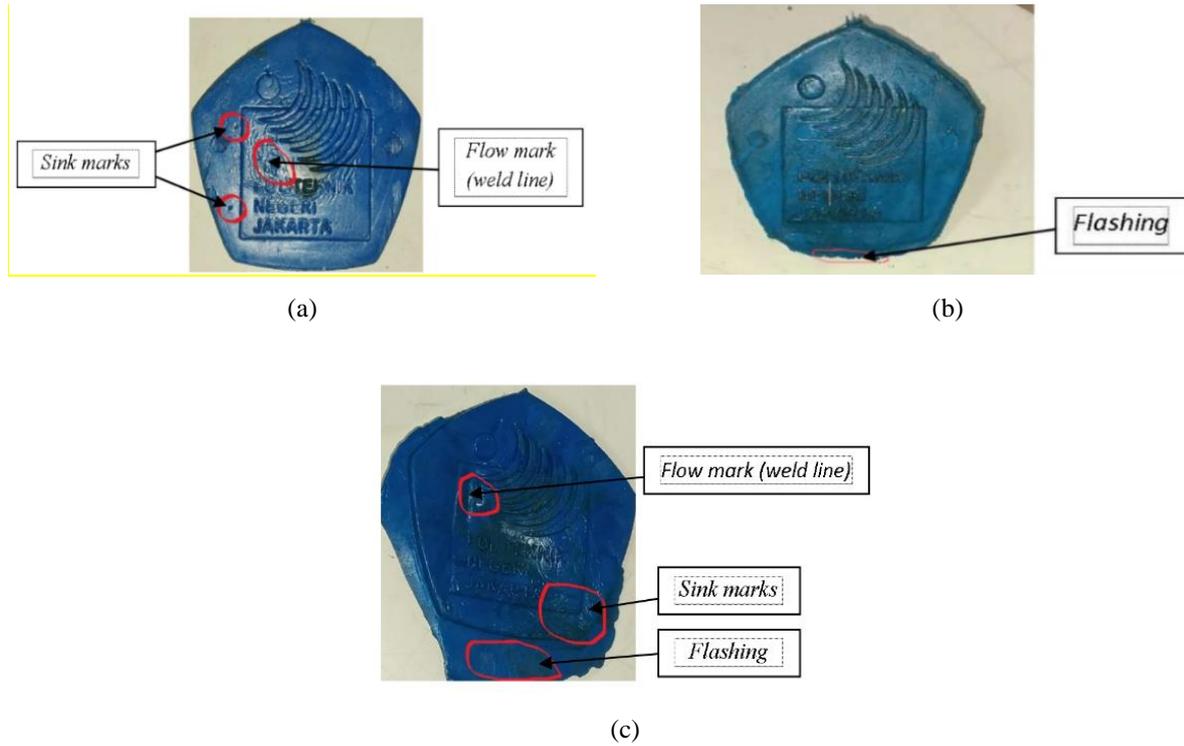


Gambar 4. Penunjukkan temperatur heater nomor 8 pada boks panel: (a) Parameter suhu 160°C, (b) Parameter suhu 180°C dan (c) Parameter suhu 200°C

Seluruh pengujian dilakukan dengan waktu pendinginan konstan sampai pelepasan produk akhir. Gambar 5 menunjukkan produk akhir hasil pengujian baik pada parameter suhu 160°C, 180 °C dan 200 °C. Hasil akhir produk uji pada parameter suhu 160°C ditunjukkan pada Gambar 5 (a). Hasil cetakan memiliki cacat *sink mark* dan cacat *flow mark (weld line)*. Cacat produk ini biasanya terjadi saat suhu resin, suhu cetakan, kecepatan injeksi terlalu tinggi atau terlalu rendah dan aliran material terlalu lambat.

Gambar 5 (b) menunjukkan hasil akhir produk uji pada parameter suhu 180°C yang memiliki cacat sedikit *flashing*. Hal ini biasanya terjadi karena minimnya tekanan *clamping mold* di mesin. Hasil uji parameter suhu 200°C disajikan pada Gambar 5 (c). Hasil cetakan memiliki cacat *flashing*, *sink marks* dan *flow mark (weld line)* pada produk akhir cetakan

biasanya terjadi karena minimnya kerapatan *mold* pada titik kontak antar dua pelat dan terjadi pada saat injeksi bahan, waktu muat material terlalu cepat dan perbedaan suhu antara *core* dan *cavity* dan fluktuasi tekanan dan cetakan.



Gambar 5. Hasil produk akhir uji dengan parameter mesin: (a) Suhu 160°C, (b) Suhu 180 °C dan (c) Suhu 200 °C

Produk berbahan biji plastik PP ini di uji sebanyak tiga kali namun hanya mengambil satu (1) sampel yang di injeksi terakhir pada setiap variasi variabel suhu, hasil pengujian dan cacat yang ditimbulkan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian produk

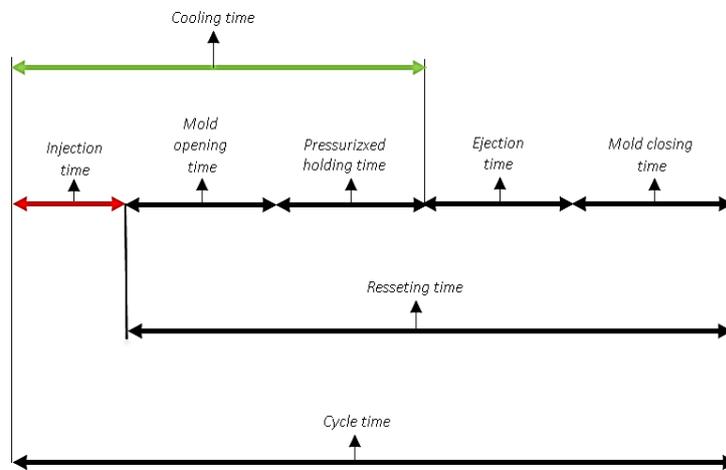
Pengujian	Suhu (°C)	Berat Material (gr)	Nosel (mm)	Pendinginan <i> mold</i> (s)	Hasil			
					Cacat <i>short shots</i>	Cacat <i>flashi-ng</i>	Cacat <i>sink marks</i>	Cacat <i>flow mark dan weld lines</i>
1	160	35	45	35			√	√
2	180	35	45	35		√		
3	200	35	45	35		√	√	√

Hasil produk akhir yang sempurna, terdapat pada pengujian variable 180°C yang ditunjukkan pada Tabel 4.

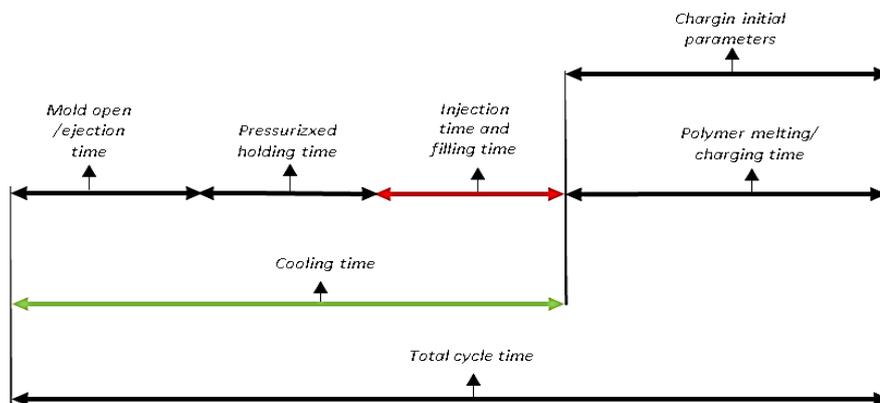
Tabel 4. Hasil produk pada pengujian dengan parameter 180°C

Hasil Pengujian pada suhu (°C)	Berat material sebelum injeksi (gr)	Berat material setelah injeksi (gr)	Waktu Pendinginan (s)	Hasil Produk (Gambar)
180	35	18	35	

Waktu siklus injeksi pada mold ditunjukkan pada Gambar 6. *Mold* dilakukan pendinginan mulai dari *fase* injeksi material sampai dengan pembukaan *mold cavity* untuk mengeluarkan produk akhir, sehingga proses waktu pendinginan sama dengan waktu injeksi ditambah waktu penahanan bertekanan dan waktu pembukaan *mold cavity*. Gambar 7 menunjukkan total siklus injeksi pada mesin injeksi *plastic molding* manual *double barrel* kapasitas 5 tf



Gambar 6. Waktu siklus injeksi pada *mold*



Gambar 7. Total siklus injeksi pada mesin injeksi *plastic molding* manual *double barrel* kapasitas 5 tf

Rumus perhitungan total waktu siklus produksi injeksi pada mesin injeksi *plastic molding* manual *double barrel* kapasitas 5 tf ditunjukkan melalui Persamaan (1) dan (2). Persamaan (1) menunjukkan proses produksi awal atau kesatu sedangkan Persamaan (2) menunjukkan proses kedua atau selanjutnya.

$$T = T_{ip} + T_m + (T_c = T_i + T_p + T_e) \quad (1)$$

$$T = T_m + (T_c = T_i + T_p + T_e) \quad (2)$$

Dimana T merupakan waktu total (s), T_{ip} merupakan total *charging intial parameters* (s), T_m dimana total *melting/charging time* (s), T_i adalah total *injection time/filling time* (s), T_p merupakan total *pressurized holding time* (s), T_e adalah total *ejection, drop* (s) dan T_c merupakan total *cooling time* (s).

Gambar 9 menjelaskan berapakah jumlah siklus waktu yang dibutuhkan pada tahap kesatu (1) saat mesin baru diaktifkan untuk lakukan proses injeksi kemudian tahapan kedua dilakukan proses injeksi dan tahapan seterusnya. Tabel 5 menunjukkan total waktu siklus pada mesin injeksi *molding* manual *double barrel* kapasitas 5 tf.

Tabel 6. Total waktu siklus pada mesin injeksi *molding* manual *double barrel* kapasitas 5 tf

Tahapan kesatu (1)			Tahapan kedua (2)		
T	Waktu siklus (s)	Keterangan	T	Waktu siklus (s)	Keterangan
T_{ip}	1380	Jumlah waktu yang di butuhkan	T_{ip}	-	Jumlah waktu yang di butuhkan
T_m	240	adalah 1655	T_m	180	adalah 215 detik
T_i	15	detik atau	T_i	15	atau 3,58333
T_p	10	27,58333 menit	T_p	10	menit dibulatkan
T_e	10	dibulatkan	T_e	10	menajdi 4 menit
T_c	35	menajdi 28	T_c	35	
T	1655	menit	T	215	

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan: Pengaturan parameter optimal terdapat pada suhu 180 °C karena cacat yang terjadi hanya *flashing* adalah tipe cacat minor, dimana terdapat kelebihan material yang membeku dibagian tepi-tepi produk dan hanya perlu dibersihkan, yang berarti masih terbentuk dengan sempurna bentuk pada produk akhir. Perhitungan waktu siklus pertama kali. Total waktu siklus yang didapatkan saat start mesin ekstruder ini membutuhkan waktu 28 menit, sedangkan waktu yang diperlukan untuk proses injeksi produk berikutnya sebanyak 4 menit. Sehingga sangat berpengaruh terhadap hasil produk akhir yang sempurna dalam pengujian ini, apabila suhu pada *heater* terlalu rendah atau terlalu tinggi.

Perhatikan ketelitian dan tekanan pada *mold* saat tahapan injeksi untuk mendapatkan hasil produk yang lebih baik. Kapasitas mesin semakin ditingkatkan pada tahapan injeksi dengan sistim semi auto menggunakan motor servo sebagai penggerak tekanan dan tarik, bagian rumah *mold cavity* menggunakan sistim hidrolik agar mengghindari terjadinya cacat *flashing*, pendinginan *mold* menggunakan rangkaian *programmable logic control* (PLC) agar efisien dalam pengaturanya, sehingga saat melakukan injeksi, mendapatkan hasil produk yang lebih baik dan proses produksi lebih maksimal.

Ucapan terima kasih

Ucapan Terima Kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu, terlebih khusus buat Ketua Jurusan Teknik, Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, dalam menyediakan fasilitas ruangan bagi pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] M. Ghilman Badri, M. Darsin, and D. Dwilaksana. Sifat Mekanik Dan Cacat Penyusutan (Shrinkage) Akibat Variasi Komposisi Campuran Daur Ulang Polyethylene Pada Injection Moulding. *J. ROTOR*, vol. 7, no. 1, 2014.
- [2] Y. Kristanto and B. Kusharjanta. Pengaruh Suhu Pemanas Terhadap Shrinkage Pada Proses Injeksi Polypropylene. *Mekanika*, vol. 12, no. September, pp. 7–10, 2013.
- [3] N. Noor and B. Triyono. Perancangan Mesin Injeksi Plastik Portabel. *Pros. 11th Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, pp. 26–27, 2020.
- [4] M. Iman Mujiarto, ST., “Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif. Repository.Uin-Suska.Ac.Id, 2023.
- [5] I. H. H. Mawardi. Analisis Kualitas Produk dengan Pengaturan Parameter Temperatur Injeksi Material Plastik Polypropylene (PP) Pada Proses Injection Molding. *Ind. Eng. J.*, vol. 4, no. 2, pp. 30–35, 2015.
- [6] S. W. Satoto, H. Yanto, P. N. Batam, and B. Centre. Tekanan Injeksi Moulding Terhadap Cacat Produk. *J. Integr.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–6, 2018.
- [7] T. Womer. The Evolution of screw design technology for the Injection Molding Process. *Plast. Trends*, 2011.
- [8] A. I. Ramadhan, E. Diniardi, and M. Daroji. Analisa Penyusutan Produk Plastik di Proses Injection Molding Menggunakan Media Pendingin Cooling Tower dan Udara dengan Material Polypropylene. *Jrst J. Ris. Sains Dan Teknol.*, vol. 1, no. 2, p. 65, 2017.
- [9] G. A. Dana et al., “Analisis Parameter Mold Temperature pada Tutup Botol 200 ml Terhadap Cacat Sink Mark Material Polypropylene (PP) Menggunakan Solidworks 2022. pp. 133–140, 2022.
- [10] P. Studi, T. Mesin, F. Teknik, and C. Hsong. Publikasi Online Mahasiswa Teknik Mesin Pengaruh Variasi Temperatur , Tekanan Dan Waktu Pendinginan Terhadap Waktu Siklus Produksi Dan Berat Produk Pada Proses Injection. vol. 5, no. 2, pp. 0–8, 2022.
- [11] E. H. Langga, M. Syabani, and R. Wulung. Pengaruh Suhu Dan Tekanan Injeksi Terhadap Cacat Short Shot Produk Polikarbonat Pada Mesin Injection Molding. *Stud. Kasus Di Pt. Sejong Matrasindo Semarang*, vol. 14, pp. 1–14, 2015.
- [12] D. Zulianto, B. Waluyo, and Pramuko. Cacat Warpage Pada Produk Injetion Molding Berbahan Polyprophylene (PP). pp. 3–19, 2015.
- [13] Fadhlurrohman, K. Umuran, Affandi, H. Nurdin, and A. Rudi. Pengaruh suhu cetakan terhadap produk plastik berbahan polyprophylen (PP) pada injection molding. *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 5, no. 1, pp. 39–45, 2022.
- [14] A. R. Hakim. Pengaruh Suhu, Tekanan Dan Waktu Pendinginan Terhadap Cacat Warpage Produk Berbahan Plastik. *J. Dimens.*, vol. 5, no. 1, p. 128, 2016, doi: 10.33373/dms.v5i1.14.
- [15] N. yang Zhao, J. yuan Lian, P. fei Wang, and Z. bin Xu. Recent progress in minimizing the warpage and shrinkage deformations by the optimization of process parameters in plastic injection molding: a review. *Int. J. Adv. Manuf.*

Technol., vol. 120, no. 1–2, pp. 85–101, 2022, doi: 10.1007/s00170-022-08859-0.

- [16] B. W. Febriantoko, A. H. Wibowo, J. Teknik, M. Universitas, and M. Surakarta. Penyusutan Pada Produk Injeksi Plastik Dengan Mold Tipe Laminated Steel Tooling. Pros. Semin. Nas. Teknoin, pp. A25–A29, 2008.
- [17] Hisham A. Maddah. Polypropylene as a Promising Plastic: A Review. Am. J. Polym. Sci., vol. 6, no. 1, pp. 1–11, 2016.
- [18] B. Purgleitner, D. Viljoen, I. Kühnert, and C. Burgstaller. Influence of injection molding parameters, melt flow rate, and reinforcing material on the weld-line characteristics of polypropylene. Polym. Eng. Sci., vol. 63, no. 5, pp. 1551–1566, 2023.
- [19] T. Materne, F. de Buyl, and G. L. Witucki. Organosilane Technology in Coating Applications: Review and Perspectives. Dow Corning, vol., no., pp. 1–16, 2012.
- [20] P. Gao, Z. Nieduzak, J. Krantz, M. J. Sobkowicz, and D. Masato. Analysis of the Embodied Energy of Different Grades of Injection-Molded Polypropylene. 2024.