

Pengaruh Temperatur Injeksi, Waktu Pendinginan Dan Komposisi Bahan Baku pada Injection Molding Terhadap Cacat Produk

Fipka Biso^{1*}, Raihan Ramadhan², Rizal Indrawan³ dan Dhika Aditya P.⁴
^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia
e-mail: *fipka@ppns.ac.id

Abstrak: Produk plastik banyak kita gunakan dalam keseharian. Peralatan makan, suku cadang otomotif, perkakas rumah tangga bahkan perlengkapan industri merupakan produk plastik. Salah satu metode pembuatan produk plastik adalah dengan menggunakan injection molding. Metode ini sering digunakan dikarenakan kecepatan produksi yang tinggi, produk yang dihasilkan bisa bervariasi bentuk dan ukuran tergantung dari cetakan dan bisa dijalankan secara otomatis. Akan tetapi cacat produk plastik hasil proses injection molding mungkin terjadi dan menyebabkan kualitas produk berkurang. Dalam penelitian ini dilakukan eksperimen untuk mengetahui pengaruh parameter injection molding terhadap cacat warpage pada produk plastik. Parameter yang digunakan adalah temperatur injeksi, waktu pendinginan dan komposisi bahan baku dengan masing masing 3 level pada tiap parameter. Mesin yang digunakan adalah mesin injeksi dengan tipe Lancing-150T. Eksperimen dilakukan 9 kali dengan kombinasi parameter yang berbeda serta dilakukan 3 kali replikasi. Parameter yang dianggap konstan dan dijaga tidak berubah selama eksperimen adalah holding pressure, injection pressure dan clamping pressure. Dari hasil eksperimen dan pengolahan data didapatkan bahwa temperatur injeksi 190oC, waktu pendinginan 33 detik dan komposisi bahan 30% memberikan pengaruh yang signifikan terhadap cacat warpage, dimana produk plastik yang dihasilkan sesuai kriteria standar kualitas produk dan cacat warpage yang terjadi lebih sedikit daripada kombinasi parameter yang lain.

Kata kunci: *Injection molding*, temperatur injeksi, waktu pendinginan, komposisi bahan baku, *warpage*

Abstract: We use many plastic products in our daily lives. One method of making plastic products is to use injection molding. This method is often used due to the high production speed, the resulting product can vary in shape and size depending on the mold and can be carried out automatically. However, defects in plastic products resulting from the injection molding process may occur and cause product quality to decrease. In this research, experiments were carried out to determine the effect of injection molding parameters on warpage defects in plastic products. The parameters used are injection temperature, cooling time and raw material composition with 3 levels for each parameter. The machine used is an injection machine with the Lancing-150T type. The experiment was carried out 9 times with different parameter combinations and carried out 3 replications. Parameters that are considered constant and kept unchanged during the experiment are holding pressure, injection pressure and clamping pressure. From the experimental results and data processing, it was found that the injection temperature of 190oC, cooling time of 33 seconds and material composition of 30% had a significant influence on warpage defects, where the plastic products produced met standard product quality criteria and the warpage defects that occurred were fewer than the other combination of parameters.

Keywords: Injection molding, injection temperature, cooling time, material composition, warpage

Kemajuan industri manufaktur membuat penggunaan material plastik semakin pesat. Kelebihan produk plastik adalah sifatnya yang ringan dan kuat serta tahan terhadap korosi, dapat bersifat transparan, bisa diwarnai, tidak mengalami

pembusukan dan terpenting adalah dapat berfungsi sebagai isolator sehingga dapat menggantikan produk kayu dan logam yang telah bertahun-tahun digunakan. Seiring dengan berkembangnya industri manufaktur, timbunan sampah juga turut meningkat. Berdasarkan data dari kementerian lingkungan hidup yang dimasukkan oleh 310 kabupaten/kota se-Indonesia, pada tahun 2022 timbunan sampah mencapai 36.113.922,58 ton dan 36,47% di antaranya tidak terkelola. Dari jumlah tersebut, 18,1% di antaranya merupakan sampah plastik. Salah satu usaha untuk mengurangi sampah plastik adalah dengan cara mendaur ulang sampah plastik untuk digunakan kembali menjadi bahan untuk membuat produk baru. Selain dapat mengurangi jumlah sampah yang tidak terkelola, proses daur ulang sampah plastik juga dapat mengurangi biaya produksi karena bahan bisa didapatkan dengan harga yang cenderung murah. Penggunaan plastik daur ulang memang dapat mengurangi biaya produksi, namun kualitasnya cenderung lebih rendah dari biji plastik baru. Oleh karena itu, pada proses injection molding perlu dilakukan setting parameter yang optimal untuk meminimalisir adanya cacat pada produk berbahan dasar plastik daur ulang. Selain setting parameter yang optimal, pencampuran bahan daur ulang dengan biji plastik baru perlu dilakukan apabila bahan daur ulang yang didapat kualitasnya sangat rendah.

Dalam kurun 3 dekade terakhir, penggunaan injection molding di bidang otomotif/transportasi, elektronik, medis, dan industri packaging berkembang sangat pesat. Mesin injeksi dengan tipe screw type adalah jenis mesin yang banyak digunakan di industri. Mesin injection molding banyak digunakan karena merupakan metode molding yang kuat dan mampu membuat produk dengan bentuk yang kompleks dengan berbagai ukuran. Contoh produk yang dihasilkan dari proses injection molding yang dapat ditemui dalam kehidupan sehari-hari antaranya adalah botol plastik, barel plastik, gir berukuran mikro, dan jarum berukuran mikro. Berbagai macam material seperti material komposit, busa, thermoplastic dan thermosetting dapat digunakan dalam proses injection molding.

Produk yang dibuat menggunakan bahan daur ulang bisa didapatkan dengan harga yang relatif murah, namun kualitasnya tidak sebagus bahan biji plastik baru. Oleh karena itu, perlu dilakukan beberapa eksperimen untuk mendapatkan setting parameter untuk mengurangi adanya cacat pada produk. Dalam penelitian ini dilakukan analisis pengaruh parameter proses produksi pada mesin injection molding dengan produk bagasi depan sepeda motor, dengan harapan dapat mengurangi produk dengan cacat warpage tanpa kenaikan biaya produksi yang signifikan.

METODE

Penentuan Variabel

a. Variabel Respon

Variabel respon merupakan variabel yang memiliki ketergantungan dengan variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel respon yang diteliti adalah cacat warpage pada produk plastik bagasi depan sepeda motor. Variabel ini dipilih dengan alasan banyaknya produk yang mengalami cacat warpage.

b. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang tidak memiliki ketergantungan pada variabel lain, namun dapat memengaruhi variabel respon. Pada eksperimen ini diambil 3 parameter yang dapat memengaruhi hasil antara lain: temperatur injeksi, waktu pendinginan dan komposisi bahan baku. Pengaturan level pada masing-masing parameter dalam interval tersebut telah direkomendasikan oleh injection molding manufacturer. Pada eksperimen ini masing-masing 3 level pada tiap parameter ditunjukkan Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Pengaturan level masing-masing parameter

Parameter			Level 1	Level 2	Level 3
A	Temperatur injeksi	oC	190	200	210
B	Waktu pendinginan	detik	29	31	33
C	Komposisi bahan baku	%	10	20	30

c. Variabel Konstan

Variabel konstan adalah variabel proses yang tidak diteliti. Variabel ini dibuat konstan dan dijaga agar tidak berubah selama percobaan berlangsung. Variabel ini dibuat agar tidak memengaruhi hasil penelitian. Dalam penelitian ini, variabel konstan yang digunakan antara lain:

Holding pressure	: 20 bar
Injection pressure	: 60 bar
Clamping pressure	: 32 bar

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan dalam eksperimen ini menggunakan taguchi orthogonal array L9(33), dengan memvariasikan tiga parameter dengan tiga level. Rancangan percobaan ini juga menggunakan 3 kali replikasi. Rancangan percobaan taguchi orthogonal array L9(33) ditunjukkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Rancangan Percobaan

Percobaan ke-	Temperatur injeksi (°C)	Variabel Bebas	
		Waktu Pendinginan (S)	Komposisi bahan (%)
1	190	29	10
2	190	31	20
3	190	33	30
4	200	29	20
5	200	31	30
6	200	33	10
7	210	29	30
8	210	31	10
9	210	33	20

Alat dan Bahan Ekperimen

a. Mesin Injection Molding

Mesin yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah mesin injeksi Lancing-150T. Mesin ini digunakan untuk membuat produk dari material plastik daur ulang. Gambar di bawah ini merupakan gambar mesin injection molding yang akan digunakan untuk eksperimen.



Gambar 1. Mesin injection molding

b. Material Daur Ulang dan Biji Plastik

Material yang akan digunakan dalam eksperimen ini yaitu adalah bahan daur ulang yang didapatkan dari limbah plastik yang kemudian digiling menggunakan mesin crusher. Selain itu digunakan biji plastik baru sebagai campuran. Gambar 2 dibawah ini merupakan bahan daur ulang dan biji plastik yang digunakan.



Gambar 2. Material daur ulang

c. Height Gauge

Pada eksperimen ini, warpage diukur menggunakan height gauge untuk mengetahui perbedaan ketinggian pada produk.



Gambar 3. Height gauge

Pengambilan Data

Pengukuran warpage ini dilakukan dengan menggunakan height gauge. Height gauge akan di-setting 0 pada bagian pojok produk yang lebih rendah, kemudian mengukur titik yang berseberangan (jarak yang sama dari garis tengah produk) untuk mengetahui perbedaan ketinggiannya. Gambar 4 adalah dokumentasi proses pengukuran warpage.



Gambar 4. Pengukuran warpage

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Percobaan

Pengambilan data dilakukan dengan melaksanakan percobaan proses injection molding dengan parameter yang sudah ditentukan. Setelah pelaksanaan proses injection molding dilakukan, produk yang telah dibuat akan diberi penomoran sebelum dilakukan pengukuran warpage. Pelaksanaan percobaan proses injection molding dimulai dengan persiapan material bijih plastik dan memasukkan material bijih plastik kedalam hopper. Kemudian mengatur beberapa parameter yang dianggap konstan dan parameter bebas seperti injection temperature, cooling time, dan komposisi bahan baku sesuai dengan rancangan percobaan. Pelaksanaan percobaan ini dilakukan sebanyak 9 kombinasi parameter dengan tiap-tiap parameter dilakukan 3 kali replikasi, maka total percobaan yang dilakukan adalah sebanyak 27 kali percobaan.

Tabel 3. Data Hasil Percobaan

Kombinasi	Variabel Bebas			Warpage (mm)			Rasio S/N
	Temperatur Injeksi (°C)	Waktu Pendinginan (S)	Komposisi Bahan (%)	R1	R2	R3	
1	190	29	10	12,65	12,09	12,19	-21,8069
2	190	31	20	8,87	9,15	8,68	-18,9898
3	190	33	30	6,89	7,67	7,43	-17,3107
4	200	29	20	13,72	13,92	13,47	-22,7373
5	200	31	30	12,37	11,91	11,6	-21,5577
6	200	33	10	13,33	13,52	12,92	-22,4502
7	210	29	30	10,38	10,61	10,19	-20,3363
8	210	31	10	13,16	11,82	13,33	-22,1359
9	210	33	20	8,2	7,71	8,57	-18,2419

Pengaruh Terhadap Cacat Warpage

Analisis yang dilakukan setelah eksperimen adalah analisis variansi (ANOVA). Analisis variansi digunakan untuk mengetahui variabel proses yang memiliki pengaruh secara signifikan terhadap respon. Pada penelitian ini, analisis variansi dilakukan pada SN rasio dari pengukuran besarnya warpage. Hasil dari perhitungan ANOVA ditampilkan pada tabel 4 di bawah ini:

Tabel 4. Hasil perhitungan ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	Fhitung	% Kontribusi
Temperatur Injeksi	2	13,0868	6,5434	225,6345	41,2 %
Waktu Pendinginan	2	8,2264	4,1132	141,8345	25,8 %
Komposisi Bahan	2	10,3918	5,19588	179,1683	32,7 %
Error	2	0,058	0,029		
Total	8	31,7637			

Dari data di Tabel 4 dengan membandingkan F hitung dan F tabel dapat disimpulkan bahwa semua parameter yang digunakan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap cacat warpage, serta berdasarkan perhitungan persen kontribusi parameter yang mempengaruhi cacat warpage secara berurutan adalah temperatur injeksi, komposisi bahan dan waktu pendinginan. Untuk mengetahui level dari temperatur injeksi, waktu pendinginan dan komposisi bahan yang memberikan pengaruh terhadap warpage maka dilakukan uji lanjutan yaitu uji Tukey. Uji Tukey untuk masing masing parameter bisa dilihat pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Injection Temperature	N	Mean	Grouping
190	3	-19,3691	A
210	3	-20,2380	B
200	3	-22,2484	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Pengaruh Temperatur Injeksi, Waktu Pendinginan Dan Komposisi Bahan Baku pada Injection Molding

Tukey Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of Injection Temperature Levels	Difference of Means	SE of Difference	Simultaneous 95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
200 - 190	-2,879	0,140	(-3,703; -2,055)	-20,58	0,004
210 - 190	-0,869	0,140	(-1,693; -0,045)	-6,21	0,045
210 - 200	2,010	0,140	(1,186; 2,834)	14,37	0,009

Individual confidence level = 97,24%

Gambar 5. Hasil uji Tukey parameter temperatur injeksi

Hasil analisis data eksperimen dengan Tukey, secara statistik menunjukkan bahwa nilai dari warpage yang dihasilkan berbeda untuk tiap level parameter injeksi, dari data juga didapatkan bahwa temperatur injeksi 190oC menghasilkan warpage yang paling kecil.

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Cooling Time	N	Mean	Grouping
33	3	-19,3343	A
31	3	-20,8945	B
29	3	-21,6268	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of Cooling Time Levels	Difference of Means	SE of Difference	Simultaneous 95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
31 - 29	0,732	0,140	(-0,092; 1,556)	5,23	0,062
33 - 29	2,293	0,140	(1,468; 3,117)	16,39	0,007
33 - 31	1,560	0,140	(0,736; 2,384)	11,15	0,014

Individual confidence level = 97,24%

Gambar 6. Hasil uji Tukey parameter waktu pendinginan

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Komposisi Bahan			
Bahan	N	Mean	Grouping
30	3	-19,7349	A
20	3	-19,9897	A
10	3	-22,1310	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of Komposisi Bahan Levels	Difference of Means	SE of Simultaneous Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
20 - 10	2,141	0,140	(1,317; 2,965)	15,31	0,008
30 - 10	2,396	0,140	(1,572; 3,220)	17,13	0,006
30 - 20	0,255	0,140	(-0,569; 1,079)	1,82	0,355

Individual confidence level = 97,24%

Gambar 7. Hasil uji Tukey parameter komposisi bahan

Pengaruh tiap level parameter terhadap warpage ditampilkan pada Tabel 5 dibawah ini :

Tabel 11. Hasil uji tukey

Parameter	Perbandingan Level	Pvalue	Alpha	Kesimpulan
Temperatur injeksi	200 - 190	0,004	0,05	Perbedaan level parameter temperatur injeksi antara 200 °C dan 190 °C memberikan pengaruh terhadap warpage.
	210 - 190	0,045	0,05	Perbedaan level parameter temperature injeksi antara 210 °C dan 190 °C memberikan pengaruh terhadap warpage.
	210 - 200	0,009	0,05	Perbedaan level parameter temperatur injeksi antara 210 °C dan 200 °C memberikan pengaruh terhadap warpage.
Waktu pendinginan	31 - 29	0,062	0,05	Perbedaan level parameter waktu pendinginan antara 31 S dan 29 S tidak memberi pengaruh terhadap warpage.
	33 - 29	0,007	0,05	Perbedaan level parameter waktu pendinginan antara 33 S dan 29 S memberikan pengaruh terhadap warpage.
	33 - 31	0,014	0,05	Perbedaan level parameter waktu pendinginan antara 33 S dan 31 S memberikan pengaruh terhadap warpage.
Komposisi Bahan	20 - 10	0,008	0,05	Perbedaan level parameter komposisi bahan antara 20% dan 10% memberikan pengaruh terhadap warpage.
	30 - 10	0,006	0,05	Perbedaan level parameter komposisi bahan antara 30% dan 10% memberikan pengaruh terhadap warpage.
	30 - 20	0,355	0,05	Perbedaan level parameter komposisi bahan antara 30% dan 20% tidak memberi pengaruh terhadap warpage.

Pengaruh Temperatur Injeksi, Waktu Pendinginan Dan Komposisi Bahan Baku pada Injection Molding

PENUTUP

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Parameter temperatur injeksi, waktu pendinginan dan komposisi bahan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap cacat warpage.
2. Temperatur injeksi 190oC, waktu pendinginan 33 detik dan komposisi bahan 30% memberikan pengaruh yang signifikan terhadap cacat warpage dan memberikan hasil yang terbaik, dimana produk plastik yang dihasilkan sesuai kriteria standar kualitas produk dan cacat warpage yang terjadi lebih sedikit daripada kombinasi parameter yang lain.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Hartono, M., Pratikto, Santoso, P. B., & sugiono. (2016). Optimization of the L36 mixed-level controllable factors of Taguchi parameter design on the plastic injection molding process for minimizing defects. *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri (SENATI) 2016*, 166-171.
- [2] Fernandes, C., Jose Pontes, A., Cesar Viana, J., & Gaspar-cunha, A. (2018). Modeling and Optimization of the Injection-Molding Process: A Review. *Advances in Polymer Technology, Vol. 37, No. 2*, 1-21.
- [3] Suprayitno, Dhiya'uddin, F., & Dharma Bintara, R. (2022). Computational Study of Injection Molding Parameters to Minimize Shrinkage and Warpage Using the Taguchi Method. *Proceeding International Conference on Religion, Science and Education (2022)*, 613-618.
- [4] Halimah, P., & Ekawati, Y. (2020). Penerapan Metode Taguchi untuk Meningkatkan Kualitas Bata Ringan pada UD. XY Malang. *Journal of Industrial Engineering and Management Systems Vol. 13, No. 1*, 13-26.
- [5] Rahcman, F., Wiro Kurniawan, B., Pramestiani, I., & Rinanto, N. (2023). Optimizing Injection Molding Parameters to Cycle Time of Bioring Cone Cup Products with Taguchi Method. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research, Vol. 8(3)*, 494-500.
- [6] Usmadi, U. Uji Tukey Dan Uji Scheffee Uji Lanjut (Post Hoc Test). *Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat*.
- [7] Soejanto, Irwan. 2009. Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi. Graha Ilmu.