

PENGARUH VARIASI BARREL TEMPERATURE, INJECTION PRESSURE DAN COOLING TIME TERHADAP CACAT WARPAGE PADA PROSES INJECTION MOLDING (AL-PP)

Dheo Ardi Nugraha Saputra¹, Hary Sutjahjono², Danang Yudistiro²,
M. Fahrur Rozy H², Skriptyan NHS²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

²Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

Email: dheo.ardi95@gmail.com

ABSTRACT

Plastic is a polymer that has unique and extraordinary characteristic properties. With a binder (plastic) can be combined with metal elements, namely aluminum. Aluminum is chosen as an alloy material because it has good strength and tenacity. Metal alloy plastic can be processed by a method called injection molding. Injection molding is a process used in making plastic products. This research was conducted with barrel temperature, injection pressure and cooling time process variables. While the response variable is warpage defects. This study aims to determine the effect of variations in process parameters is barrel temperature, injection pressure, cooling time on warpage defects in injection molding products with Al-PP alloy material, and find out the optimum variation of parameters in the injection molding process. The results showed that barrel temperature had an effect of 91.62% on the value of warpage defect response, this condition can be observed as the level barrel temperature increases, the value of warpage defects also increases. The effect of 6.43% injection pressure on the value of warpage defects due to an increase in each injection pressure level will reduce the chance of warpage defects. The effect of cooling time parameters is 1.78% on the value of warpage defects, which means that the longer the cooling time, the greater the response or warpage produced. The optimum variation of parameters in the injection molding process in the ASTM A370 test specimen in barrel temperature parameters at level 1 is 150 °C, the injection pressure parameter at level 3 is 11 bar and the cooling time parameter at level 1 is 15 seconds.

Keywords : Al-PP Alloy material, Injection molding, Warpage.

PENDAHULUAN

Plastik merupakan suatu polimer yang memiliki sifat karakteristik unik dan luar biasa. Plastik diketahui sebagai bahan yang serbaguna, murah, tidak mudah korosi, dan dapat didaur ulang. Dengan bahan pengikat (*binder*) plastik dapat dipadukan dengan unsur metal yaitu alumunium. Alumunium merupakan suatu logam ringan yang memiliki ketahanan terhadap koros dan hantaran listrik yang baik. Alumunium dipilih sebagai bahan paduan karena mempunyai kekuatan dan keuletan yang cukup baik pula.

Dekade terakhir ini plastik paduan metal dapat diproses dengan suatu metode yang disebut *injection molding*. *Injection molding* adalah suatu proses yang digunakan dalam membuat produk berbahan plastik. Metode *injection molding* memiliki kelebihan yaitu tidak ada batasan kerumitan dalam desain produk, dapat menghasilkan variasi

yang luas, ukuran produk dapat dicetak mulai produk kecil hingga besar, dan menghasilkan produk yang memiliki toleransi presisi yang sangat baik.

Penelitian *injection molding* yang dilakukan Dwi Zulianto, (2015) tentang variasi suhu yang digunakan untuk *injection molding* proses 138°C, 140°C, 145°C, 150°C, 155°C, dan 160°C didapatkan hasil bahwa secara umum menaikkan temperatur injeksi membuat persentase *warpage* yang terjadi semakin besar begitu juga sebaliknya dan temperatur optimal dari penelitiannya yaitu pada temperatur 150°C karena pada temperatur ini membutuhkan *melting time* tercepat tanpa adanya cacat *warpage* [1]. M.A Fathoni, (2015) menganalisa variasi tekanan yang digunakan pada proses *injection molding* yaitu 6.37 kg/cm², 12.74 kg/cm², 19.11 kg/cm², 25.48 kg/cm² dan 31.85 kg/cm², menjelaskan bahwa menaikkan tekanan injeksi membuat area *warpage* yang

terjadi semakin kecil akan tetapi nilai *warpage* yang terjadi cenderung stabil, walaupun begitu ada tekanan optimal dimana pada tekanan tersebut nilai *warpage* yang terjadi paling kecil dan tekanan yang optimal dalam penelitiannya yaitu pada tekanan 19.11 kg/cm²[2]. R. Sanchez, dkk (2012) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa cacat *warpage* bisa menjadi lebih rendah pada suhu injeksi 230°C, dan waktu pendinginan yang awalnya 12 detik dinaikkan menjadi 20 detik defleksi maksimum berkurang sekitar 6%, dan jika waktu pendinginan dinaikkan hingga 28 detik, defleksi menurun hingga 30% [3]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi parameter proses yaitu *barrel temperature*, *injection pressure*, *cooling time* terhadap cacat *warpage* produk *injection molding*, dan mengetahui variasi parameter optimum pada proses *injection molding* agar cacat *warpage* pada spesimen uji tarik ASTM A370 menjadi minimum.

METODOLOGI PENELITIAN

a. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mesin Injection molding dengan Pneumatik sebagai pendorongnya dan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

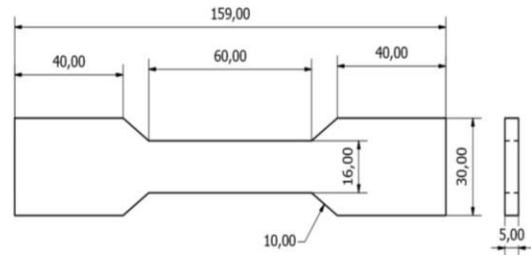
- a. Model : Pneumatik Injection
- b. Tegangan Listrik : 220 volt/50 hz/600 watt
- c. Tekanan : 12,73 bar
- d. Temperatur : Max 450 C – Min 20 C
- e. Dimensi : 550 x 500x 1060 mm



Gambar 1. Mesin Injection Molding

b. Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan dasar plastik jenis PP (*Polypropylene*) berupa biji plastik dan serbuk Al sebagai *filler*.



Gambar 2. Dimensi ASTM A370

c. Rancangan Percobaan

Ada tiga parameter yang digunakan dalam percobaan ini, di mana setiap parameter proses *injection molding* memiliki tiga level pengaturan. Pengaturan level ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel-variabel proses yang digunakan

Kode	Variabel Proses	Level 1	Level 2	Level 3
A	Barrel temperature	150 °C	160 °C	170 °C
B	Injection Pressure	7 bar	9 bar	11 bar
C	Cooling Time	15 s	20 s	25 s

Desain eksperimen yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Taguchi dengan rancangan percobaan *orthogonal array* L9(3³) yang ditunjukkan pada Tabel 2. Untuk mengurangi faktor gangguan dilakukan replikasi sebanyak tiga kali.

Tabel 2. Matrix Ortogonal L₉(3³)

No Percobaan	Parameter Kendali		
	Barrel temperature	Injection Pressure	Cooling Time
1	150	7	15
2	150	9	20
3	150	11	25
4	160	7	20
5	160	9	25
6	160	11	15
7	170	7	25
8	170	9	15
9	170	11	20

d. Prosedur Percobaan

Percobaan dilakukan dengan mengambil data luasan cacat *warpage* pada setiap kombinasi faktor. Luasan cacat *warpage* diukur menggunakan software imageJ. Sedangkan luasan pembanding diketahui dari luasan pattern. Persentase cacat pada proses *injection molding* secara umum dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut[x].

$$\text{Persentase cacat} = \frac{\text{luasan cacat}}{\text{luasan pattern}} \times 100\% \quad (1)$$

e. Analisis Variansi (ANOVA)

Analisis variansi (ANOVA) digunakan sebagai cara untuk mencari variabel proses yang berpengaruh signifikan dan besarnya kontribusi terhadap variabel respon. Pada penelitian ini, analisis variansi dilakukan menggunakan S/N rasio yang merupakan respon yang mewakili keseluruhan dari seluruh respon. Persen kontribusi menunjukkan porsi masing-masing faktor terhadap total variansi yang diamati. Jika persen kontribusi *error* kurang dari 15%, maka tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan tetapi jika persen kontribusi *error* lebih dari lima belas persen mengindikasikan ada faktor yang berpengaruh terabaikan sehingga *error* yang terjadi terlalu besar [4].

DATA DAN PEMBAHASAN

Data Hasil *Warpage*

Data hasil penelitian didapatkan nilai cacat *warpage* sebagai berikut:

Tabel 3. Data Hasil Perhitungan *Warpage* dan S/N rasio

No Percob.	Control Factor			Persentase Cacat <i>Warpage</i> (%)	S/N Rasio <i>Warpage</i>
	BT	IP	CT		
1	150	7	15	11%	19.04
2	150	9	20	11%	19.26
3	150	11	25	10%	19.98
4	160	7	20	28%	10.91
5	160	9	25	25%	12.04
6	160	11	15	19%	14.24
7	170	7	25	35%	9.18
8	170	9	15	27%	11.47
9	170	11	20	25%	12.09

Nilai rasio S/N digunakan untuk menghitung analisis varian (ANOVA) guna mengetahui P-value dan persen kontribusi. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui parameter yang berpengaruh secara signifikan terhadap setiap variabel respons. Penelitian ini menggunakan taraf signifikan (α) sebesar 5%, sehingga P-value harus kurang dari 5% agar dianggap berpengaruh. Berikut adalah hasil perhitungan ANOVA dan persen kontribusi yang disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil ANOVA dan kontribusi parameter dengan S/N rasio

Parameter	DF	SS	MS	F	P-value	ρ (%)
BT	2	124,11	62,05	1091,41	0,001	91,62
IP	2	8,60	4,30	75,68	0,013	6,43
Ct	2	2,21	1,10	19,47	0,049	1,78
Residual error	2	0,11	0,05			0,26
Total	8	135,05				100

Berdasarkan hasil perhitungan ANOVA dan persen kontribusi pada tabel 4 dapat disimpulkan bahwa parameter *barrel temperature*, *injection pressure* dan *cooling time* berpengaruh terhadap respon cacat *warpage*, hal tersebut diperkuat dengan nilai P-value dari hasil perhitungan ANOVA yang menunjukkan nilai 0,001, 0,013, dan 0,049 bahwa nilai P-value tiap-tiap parameter lebih kecil dari nilai taraf signifikan yang digunakan yaitu 0,05.

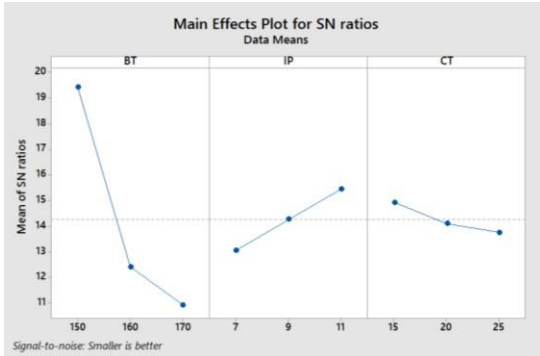
Hasil Optimasi

Optimasi dilakukan dengan menggunakan rancangan percobaan metode taguchi matriks ortogonal untuk mengidentifikasi nilai pada setiap level parameter. Perhitungan rata-rata nilai S/N Rasio setiap level pada tabel 5.

Tabel 5. Rata-rata nilai *warpage* tiap level parameter

Parameter	<i>Warpage</i>		
	Level 1	Level 2	Level 3
<i>Barrel temperature</i>	19,43	12,40	10,91
<i>Injection Pressure</i>	13,04	14,26	15,44
<i>Cooling Time</i>	14,92	14,09	13,73
		14,24	

Plot nilai rata-rata S/N rasio masing-masing level dari parameter *injection molding* yaitu *Barrel temperature*, *Injection Pressure* dan *Cooling Time* disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Plot rata-rata S/N rasio

Dari gambar 3 disimpulkan bahwa level parameter paling optimum dari penelitian *injection molding* ini dapat dilihat pada nilai S/N rasio yang paling tinggi yaitu *barrel temperature* 150 °C, *injection pressure* 11 bar, dan *cooling time* 15 detik. Kombinasi level dari parameter *injection molding* tersebut dipaparkan pada tabel 6.

Tabel 6. Kombinasi parameter respon optimum

Simbol	Parameter	Level	Nilai
A	<i>Barrel Temperature</i>	1	150
B	<i>Injection Pressure</i>	3	11
C	<i>Cooling Time</i>	1	15

Analisa Tiap Parameter

a. Parameter *Barrel temperature*

Barrel temperature memberikan pengaruh terhadap nilai respon cacat *warpage*, kondisi ini dapat diamati dari hasil perhitungan statistik menunjukkan bahwa seiring kenaikan level maka nilai cacat semakin naik. Parameter *barrel temperature* paling optimum pada level 1 yaitu 150 °C yang artinya jika temperatur yang rendah maka bahan memiliki titik lebur dibawah dari bahan tersebut yang mengakibatkan cacat *warpage* pada poduk semakin kecil dan dapat diartikan bahwa pada temperatur tersebut merupakan temperatur optimum pada *barrel*.

b. Parameter *Injection Pressure*

Faktor *injection pressure* berpengaruh yang terhadap nilai dari cacat *warpage* hal tersebut dapat diamati dari gambar 3 yang menunjukkan peningkatan setiap level *injection pressure* menurunkan peluang

terjadinya cacat *warpage*. Penelitian yang dilakukan pada mesin *injection molding* yang digunakan tidak terdapat *clamping unit* yang biasa digunakan untuk membuat produk lebih padat, akan tetapi hanya menggunakan tekanan untuk membuat produk tersebut semakin padat. Dari pernyataan tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi *injection pressure* maka semakin rendah pula cacat *warpage* yang terjadi pada produk.

c. Parameter *Cooling Time*

Cooling time berpengaruh terhadap nilai cacat *warpage* yang menunjukkan peningkatan pada tiap-tiap level, level 1 yaitu 15 detik pada kondisi optimum. Analisa *cooling time* berhubungan dengan fenomena yang terjadi pada saat cetakan dibuka dikarenakan suhu cetakan mempengaruhi terjadinya cacat *warpage*. Analisa *cooling time* pada penelitian ini berbanding terbalik dengan penelitian-penelitian sebelumnya dikarenakan mesin yang digunakan tidak mampu membuat kecepatan dan waktu pendinginan yang berbeda-beda pada produk melainkan sama pada setiap variasi, hal tersebut dapat diamati pada gambar 3. Fenomena tersebut dipengaruhi oleh bahan dari cetakan yang terbuat dari alumunium yang memiliki sifat penghantar panas yang baik, hal tersebut berdampak pada temperatur cetakan yang berbeda-beda yang akhirnya membuat luasan cacat *warpage* semakin luas ketika pengeluaran produk semakin lama. Hal tersebut juga diperkuat oleh Fischer, (2013) yang menyatakan bahwa perbedaan temperatur pada cetakan menyebabkan produk membentuk cekungan kearah sisi yang panas.[5]

KESIMPULAN

1. Pengaruh setting parameter *injection molding* terhadap cacat *warpage* produk uji tarik ASTM A370 menggunakan bahan campuran *polypropylene* dan alumunium secara berurutan dipengaruhi oleh *barrel temperature* (BT) sebesar 91,62 %, *injection pressure* (IP) sebesar 6,43 %, dan *cooling time* sebesar 1,78 %.
2. Setting parameter optimum produk uji tarik ASTM A370 menggunakan bahan paduan *polypropylene* dan alumunium dengan nilai cacat *warpage* paling kecil adalah *barrel temperature* pada level 1

dengan temperatur 150 °C, *injection pressure* pada level 3 dengan tekanan 11 bar, dan *cooling time* pada level 1 dengan waktu 15 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- Zulianto, Dwi. 2015. *Analisa Pengaruh Variasi Suhu Plastik Terhadap Cacat Warpage Dari Produk Injection Molding Berbahan Polypropylene (PP)*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Fathoni, M.A. 2015. *Analisa Pengaruh Parameter Tekanan Terhadap Cacat Warpage Dari Produk Injection Molding Berbahan Polypropylene*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Sanchez, R., Aisa, J., Martinez, A., & Mercado, D., 2012. *On The Relationship Retween Cooling Setup And Warpage In Injection Molding*. Zaragoza: Zaragoza University (CSIC)
- Soejanto, I. 2009. *Desain Eksperimental Dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Jerry M. Fischer, 2013. *Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage Second Edition*. Great Britain: Elsevier