

PENGARUH *HOLDING TIME* DAN *MOLD TEMPERATURE* TERHADAP CACAT *WARPAGE* PADA PROSES KOMPOSIT AL-PP DENGAN *INJECTION MOLDING*

Khoirul Fahmi Aziz¹, Aris Zainul Muttaqin², Intan ardiatama², Hari Arbiantara²,
Sumarji², Dwi Djumhariyanto².

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

²Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

Email: Fahmi.khoirul57@gmail.com

ABSTRACT

Success in the injection molding process is seen from the results of products that do not produce defects. Warpaga defects are one of the defects resulting from the injection molding process. One way to measure warpaga defects is to use the ImageJ application. The data processing stage in this study uses the Taguchi method statistical method with two independent variables namely holding time and mold temperature, each of which has three factors and repeated data three times, which aims to obtain more accurate values. The results showed a very influential variable is the holding time parameter then the mold temperature parameter. The higher the level of holding time parameters, the smaller the result of warpaga defects. Unlike the holding time parameters, the best mold temperature parameters at the middle level, the result will be a small warpaga defect produced. The experimental results of the highest level value on the holding time parameter are 15 seconds while in the mold temperature the value of the middle level is 50 ° C which produces a defect of 1%. While the lowest holding time parameter value is 5 seconds and the highest mold temperature level parameter value of 70 ° C is the worst variation of parameters because it produces a defect of 22%.

Keyword: injection molding, warpaga defects, taguchi method,

PENDAHULUAN

Injection molding merupakan proses pembentukan produk dari material plastik dengan variasi bentuk dan ukuran yang berbeda beda. Metode *Injection Moulding* merupakan proses pembentukan benda kerja dari material *compound* berbentuk butiran yang ditempatkan kedalam suatu *hopper* dan masuk ke dalam silinder injeksi yang kemudian didorong melalui *nozzle* dan *sprue bushing* ke dalam *cavity* dari mold yang sudah tertutup. Setelah beberapa saat didinginkan, mold akan dibuka dan benda jadi akan dikeluarkan dengan bantuan *ejector*. Material yang sangat sesuai adalah material *thermoplastic* [1].

Warpaga adalah salah satu cacat yang dihasilkan dari proses *injection molding*. *Warpaga* adalah Cacat terjadi pada suatu produk dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain kesalahan pembuatan desain *mold*, kesalahan operasi akibat dari parameter proses injeksi yang tidak sesuai sehingga produk terjadi cacat, berupa tekukan / cembungan / cekungan pada permukaan atau sirip produk [2].

parameter *holding time* dan *mold temperature* memiliki peranan penting pada proses *injection molding*. *Holding time* yang tidak tepat akan memungkinkan bahan keluar dari lubang *runner*, jika tekanan *holding time* dihentikan sebelum *gate* membeku. Setelah *gate solid*, plastik tidak bisa lagi mengalir ke dalam atau keluar dari lubang *runner*. Tambahan,waktu tahan dihitung setelah

gate membeku tidak ada lagi palstik yang masuk ke cetakan [2].

Penelitian tentang parameter suhu cetakan yang dapat mencegah terjadinya cacat *warpaga* mendapatkan hasil bahwa suhu cetakan yang rendah memiliki efek yang sangat berpengaruh pada dimensi karena pada suhu cetakan yang tinggi akan menyebabkan menempelnya hasil penginjeksian pada dinding - dinding cetakan dan akan melengkung saat dikeluarkan hasil dari cetakan [2].

Metode Taguchi merupakan suatu metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses, namun dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Analisis metode taguchi menggunakan seperangkat matriks khusus yang disebut *orthogonal array*. Matriks standar ini merupakan langkah untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Sehingga dengan metode ini akan didapatkan kombinasi parameter optimal yang dapat digunakan untuk memaksimalkan produksi produk *injection molding* [3].

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan:

- a. Waktu dan Tempat Penelitian
 Penelitian ini dilakukan di laboratorium jurusan Teknik Mesin Universitas Jember. Waktu penelitian dijadwalkan bulan Oktober 2018 sampai Januari 2019. Proses yang dilakukan meliputi persiapan alat, pengambilan data, analisa data, dan pengambilan kesimpulan
- b. Alat
 Alat yang dipakai pada penelitian ini ialah mesin injeksi molding pneumatik dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - 1. Tipe: *Injection Pneumatic*
 - 2. Tekanan kompresor : 8 bar
 - 3. Dimensi: 550 x 500 x1060 mm
 - 4. Temperatur: Min 20°C – max 450°C
 - 5. Tegangan arus: 220 volt
- c. Bahan
 - 1. plastik jenis PP (*Polypropilene*)
 - 2. serbuk alumunium (Al) sebagai pengisi
 - 3. Spesimen uji tarik A370
- d. Percanaan Percobaan

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

Tabel 1. Variable proses penelitian

Kode	Variabel	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
A	<i>Holding time</i>	Sec	5	10	15
B	<i>Mold temperature</i>	°C	30	50	70

Desain eksperimen yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Taguchi dengan rancangan percobaan yang ditunjukkan pada Tabel 2. Dilakukan tiga kali pengulangan pengambilan data untuk mendapatkan kevalidan data.

Tabel 2. Variasi rancangan Taguchi

Nomer Percobaan	Holding time (detik)	Mold temperature (°C)
1	5	30
2	5	50
3	5	70
4	10	30
5	10	50
6	10	70
7	15	30
8	15	50
9	15	70

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Percobaan

Data hasil penelitian didapatkan nilai cacat *warpage* pada Tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3. Data cacat *warpage*

No.	Control Factor	Replikasi			Rata-rata cacat <i>warpage</i>	Persentase cacat <i>warpage</i>	
		Perc. 1	Perc. 2	Perc. 3			
	<i>holding time</i> (s)						
	<i>mold temperature</i> (°C)						
1	5	30	685.774	794.227	637.368	705.7897	20%
2	5	50	361.224	505.714	1171.495	679.4777	17%
3	5	70	1220.908	932.428	504.982	886.106	22%
4	10	30	86.97	103.617	271.141	153.9093	7%
5	10	50	55.566	88.173	137.45	93.72967	4%
6	10	70	124.474	267.116	442.041	277.877	4%
7	15	30	0	0	122.888	40.96267	2%
8	15	50	0	0	79.329	26.443	1%
9	15	70	135.429	39.597	64.755	79.927	5%

Analisis Data dan Pengolahan Data

Data didapat dari rancangan metode Taguchi matriks orthogonal $L_9 (3^2)$, yang dikombinasikan dengan parameter kontrol replikasi data tiga kali. Parameter yang digunakan adalah *holding time* (waktu tahan) dan *mold temperature* (suhu cetakan) terhadap respon cacat *warpage*. pengukuran cacat menggunakan aplikasi Imagej.

Pengolahan Data

a. Perhitungan S/N ratio

Perhitungan S/N ratio merupakan sebuah bilangan yang dapat menyatakan besarnya pengaruh atau kontribusi faktor terhadap respon yang diteliti. Ukuran cacat *warpage* yang paling kecil atau bahkan yang tidak terdapat cacat *warpage*, merupakan target atau tujuan dari penelitian dikarenakan dengan terkontrolnya *warpage* pada produk maka kualitas dapat dipertahankan. Oleh sebab itu digunakan jenis optimasi *smaller the better*. Berdasarkan data yang sudah didapat setelah melakukan penelitian kemudian dihitung nilai S/N ratio pada setiap data sesuai

dengan persamaan dibawah. Data pertama dari percobaan didapatkan nilai penyusutan pada Tabel 3, kemudian dihitung nilai S/N rasionya sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i^2)}{n} \right]$$

Tabel 4. Data perhitungan S/N ratio

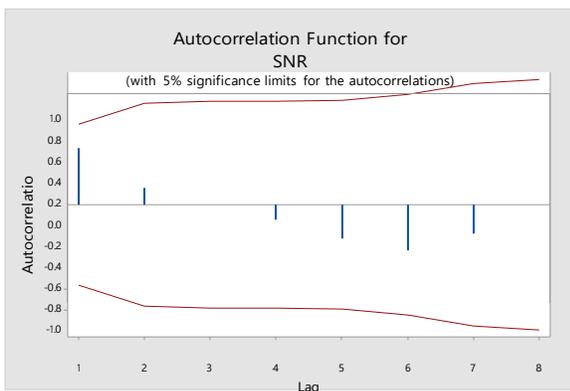
Eks.	Holding time (s)	Mold temperature (°C)	S/N ratio
1	5	30	15.6151
2	5	50	15.9451
3	5	70	13.6389
4	10	30	29.8433
5	10	50	34.1510
6	10	70	25.7115
7	15	30	35.3408
8	15	50	44.1424
9	15	70	37.5347

Pengujian Asumsi Residual

Syarat pada analisis varian mengatakan bahwa setiap residual harus memenuhi asumsi IIDN (0, σ²), seperti residual harus memiliki sifat identik, independen dan terdistribusi normal pada mean nol dan nilai varian tertentu. Ada tiga pengujian yang dilakukan terhadap asumsi residual yaitu sebagai berikut:

1. Uji independen

Pengujian independen berguna untuk menjamin bahwa data penelitian yang telah dilakukan benar-benar secara acak, yang berarti bahwa antara data penelitian satu dengan yang lain tidak ada korelasi. Pada Gambar 1 menunjukkan penelitian menggunakan *auto correlation function* (ACF), pada gambar menunjukkan tidak adanya nilai yang keluar dari batas interval sebesar 5% untuk masing-masing lag dan dapat disimpulkan bahwa setiap data satu sama lain tidak adanya korelasi residual atau residual bersifat independen.

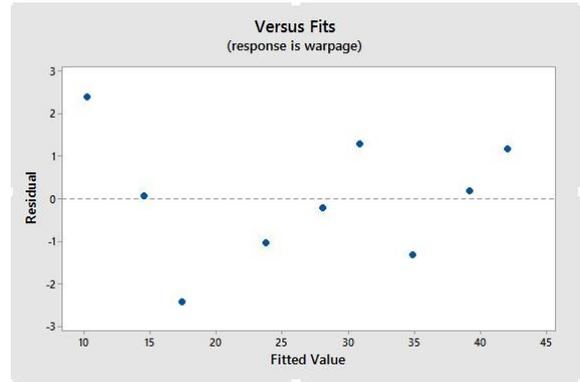


Gambar 1. Plot ACF

2. Uji homogen

Pengujian identik atau homogen pada penelitian ini dilakukan secara visual, yaitu dengan menggunakan plot antar residual dan *Fitted value*. Pada Gambar 2 dapat

dilihat hasil percobaan yang tersebar acak dan juga tidak membentuk pola tertentu. Pada gambar tersebut bisa disimpulkan bahwa asumsi residual bersifat homogen telah tercapai.



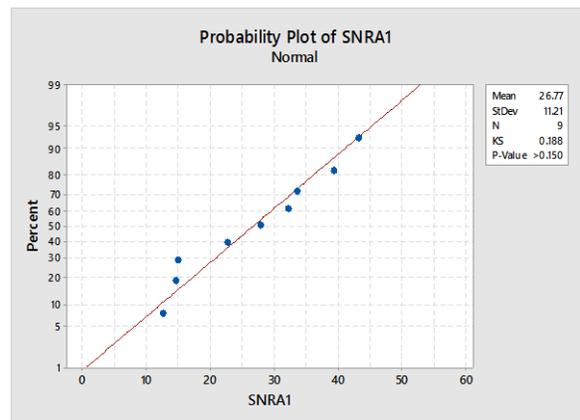
Gambar 2. Plot Uji Homogen

3. Uji Distribusi Normal

Uji distribusi normal dilakukan untuk menguji apakah residual terdistribusi normal atau tidak dilakukan dengan menggunakan *normal probability plot* yang menyatakan probabilitas dari residual suatu respon. *Kolmogorov-smirnov normality test* adalah suatu pengujian kenormalan residual. Hipotesa yang dipakai yaitu:

- H0 : Residual terdistribusi normal
- H1 : Residual tidak terdistribusi normal
- H0 diterima apabila P-value > α = 0,05

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa data yang telah diuji dengan *Kolmogorov-smirnov normality test* menyatakan P-value > α = 0,150 yang berarti bahwa nilai tersebut lebih besar dari α = 0,05. Kesimpulannya adalah H0 diterima atau gagal ditolak yang berarti bahwa residual terdistribusi normal telah tercapai.



Gambar 3 Plot Uji Distribusi Normal

Hasil Optimasi Data

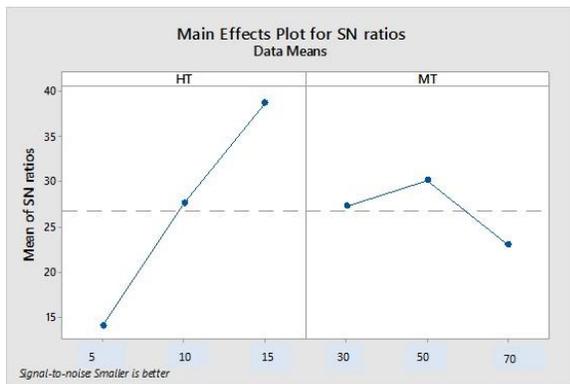
Optimasi data dianalisa dengan menggunakan metode optimasi S/N rasio sesuai dengan Tabel 4.

Tabel 4 merupakan hasil dari perhitungan rata-rata nilai S/N setiap level

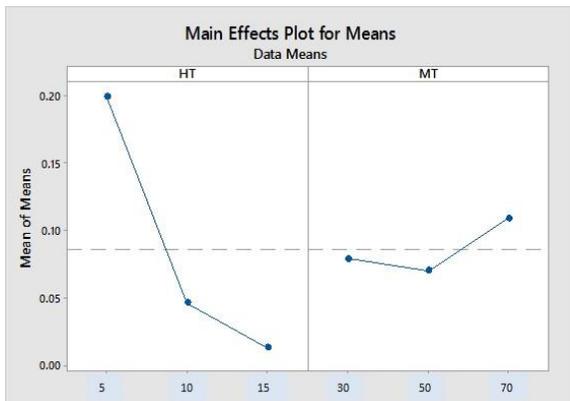
Tabel 4. Nilai *warpage* pada setiap level parameter

Parameter	Level 1	Level 2	Level 3	Selisih (max-min)
Holding time	15.066	37.568	48.672	24.606
Mold temperature	25.2664	35.0795	26.9617	7.117
Rata-rata	27.769			

Plot nilai S/N rasio dan plot for means masing-masing level dari parameter *holding time* dan *mold temperature* ditunjukkan pada gambar 4 dan gambar 5 sebagai berikut:



Gambar 4. Plot for S/N rasio



Gambar 5 Plot for means

Pada gambar 4 menyatakan bahwa level pengaruh parameter paling optimum dapat dilihat pada nilai S/N rasio paling tinggi dan pada gambar ditunjukkan pada grafik yang paling tinggi yaitu untuk *holding time* 15 detik dan *mold temperature* 50°C. Sebaliknya pada gambar 5 menyatakan parameter yang kecil menghasilkan cacat *warpage* dapat dilihat pada nilai for means yang paling rendah.

Pengujian Analisis of Varian (ANOVA)

Analisis of varian digunakan untuk mengetahui nilai pengaruh dan kontribusi pada masing-masing parameter terhadap respon nilai parameter yang diteliti. Berikut ini perhitungan ANOVA menggunakan nilai S/N rasio.

1) Menghitung jumlah kuadrat total (*sum of square*)

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

$$SST = (14.615 - 26.769)^2 + (14.945 - 26.769)^2 + (12.638 - 26.769)^2 + (27.843 - 26.769)^2 + (32.151 - 26.769)^2 + (22.711 - 26.769)^2 + (39.34 - 26.769)^2 + (43.142 - 26.769)^2 + (33.534 - 26.769)^2$$

$$SST = 1005,68$$

2) Menghitung jumlah kuadrat tiap parameter (*sum of square*)

$$SSA = nA \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{y})^2$$

$$SSA = 3 \times [(14.066 - 26.769)^2 + (27.568 - 26.769)^2 + (38.672 - 26.769)^2]$$

$$SSA = 911.055$$

$$SSA = 911.055$$

3) Menghitung kuadrat tengah (*mean of square*)

$$MSA = \frac{SSA}{df_A}$$

$$MSA = \frac{911.055}{2}$$

$$MSA = 455.527$$

Persentase kontribusi menyatakan bahwa porsi parameter terhadap total variasi respon yang diamati. Seandainya besar persentase kontribusi residual menunjukkan nilai lebih dari 5%, maka tidak ada parameter yang berpengaruh terabaikan saat penelitian. Sebaliknya jika besar nilai persentase kontribusi residual menunjukkan nilai kurang dari 5%, maka terdapat parameter yang berpengaruh terabaikan saat penelitian. Perhitungan persentase kontribusi dihitung dari hasil perhitungan ANOVA pada respon cacat *warpage* yang telah dikonversi menjadi nilai S/N rasio, yaitu :

$$SS'_A = SSA - df_A \cdot MS_{Res}$$

$$SS'_A = 911.055 - 2 \times 4.373$$

$$SS'_A = 902.309$$

$$p_A = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\%$$

$$p_A = \frac{902.309}{1005.678} \times 100\%$$

$$p_A = 90\%$$

Hasil dari perhitungan kontribusi nilai ANOVA terhadap cacat *warpage* yang telah dikonversi ke nilai S/N rasio diperlihatkan pada tabel 5 sebagai berikut :

Tabel 5. ANOVA

Parameter	DF	SS	MS	F-value	P-value	persen
HT	2	911.08	455.540	104.17	0.000	90%
MT	2	77.11	38.553	8.82	0.034	8%
Residual error	4	17.49	4.373			2%
Total	8	1005.68				100%

Dari Tabel 5 didapat kesimpulan bahwa Parameter *holding time* dan *mold temperature* memiliki pengaruh terhadap cacat *warpage*. Untuk parameter *holding time* memiliki pengaruh sebesar 90% sedangkan pada parameter *mold temperature* memiliki pengaruh sebesar 8%.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian data analisis yang sudah dilakukan menggunakan seperangkat aturan dalam metode Taguchi, maka dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa:

- a. Parameter *holding time* mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap nilai cacat *warpage* dengan pengaruh sebesar 90%. Sedangkan pada parameter *mold temperature* mempunyai pengaruh terhadap cacat *warpage* namun tidak sebesar parameter *holding time* dan memiliki pengaruh sebesar 8%.
- b. Dihasilkan kondisi optimal *setting* parameter pembuatan spesimen uji tarik yaitu dengan kombinasi parameter *holding time* sebesar 15 detik dan parameter *mold temperature* sebesar 50 °C, menghasilkan nilai cacat *warpage* paling kecil yaitu 1 %.

SARAN

Bedasarkan analisis data penelitian dari hasil penelitian pembuatan spesimen uji tarik dengan bahan AL-PP, saran sebagai berikut:

- a. Jumlah parameter atau faktor dalam mesin *injection molding* masih banyak yang belum dikaji. Jadi untuk penelitian selanjutnya supaya mengkaji ulang parameter yang digunakan. Sehingga didapatkan data analisis yang lebih lengkap mengenai pengaruh faktor terhadap hasil produksi *injection molding*.
- b. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya menghitung waktu siklus (*cycle time*).
- c. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya agar membenahi bagian-bagian mesin injeksi pneumatik di laboratorium Teknik mesin Universitas Jember terutama pada bagian pencetak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saputra, I., Sapto W.S. dan Heri Yanto. 2018. Analisa Pengaruh Temperature Dan Tekanan Injeksi Moulding Terhadap Cacat Produk. *Jurnal Integrasi*. 10(1): 1-6.

- [2] Prasetya, J.D., 2016. Analisa Pengaruh Waktu Tahan Terhadap Cacat Warpage Pada Proses Injeksi Plastik Bahan Polypropylene (PP). *Jurnal Naskah Publikasi Tugas Akhir*. 1-11.
- [3] Berginc, B, Z. Kampus dan B. Sustarsic. 2006. The use of the Taguchi approach to determine the influence of injection-molding parameters of the properties of green parts. *Journal of Achievement in Materials and Manufacturing Engineering*. 15(1-2): 63-70.