

# OPTIMASI PARAMETER *INJECTION MOLDING* TERHADAP CACAT *WARPAGE* PADA PRODUK BAGASI DEPAN MOTOR MENGGUNAKAN *TAGUCHI METHOD*

Raihan Ramadhan<sup>1</sup>, Fipka Bisono<sup>2\*</sup>, dan Rizal Indrawan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,  
Surabaya, 60111, Indonesia  
Email: fipka@ppns.ac.id\*

## Abstrak

Sebuah perusahaan di Sidoarjo yang bergerak di bidang *plastic molding* membuat sebuah produk bagasi depan motor menggunakan metode *injection molding*. Mesin injeksi yang digunakan untuk memproduksi produk bagasi depan motor adalah mesin injeksi dengan tipe Lancing-150T. Produk yang dibuat di perusahaan ini (termasuk bagasi depan motor) mayoritas menggunakan bahan daur ulang. Bahan daur ulang bisa didapatkan dengan harga yang relatif murah, namun kualitasnya tidak sebagus bahan biji plastik baru. Hal tersebut menimbulkan permasalahan yaitu kesulitan dalam menentukan parameter yang optimal untuk produk tersebut dikarenakan kualitas bahan yang rendah, sehingga beberapa produk yang dihasilkan mengalami cacat *warpage*. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis dan optimasi parameter proses produksi bagasi depan motor menggunakan metode Taguchi, dengan harapan dapat mengurangi produk dengan cacat *warpage* tanpa kenaikan biaya produksi yang signifikan. Dari hasil eksperimen, didapatkan parameter optimal yaitu *injection* temperatur 190 °C, *cooling time* 33 S, dan komposisi bahan baku baru 30%.

**Kata kunci:** *Injection Molding, Warpage, Taguchi, Recycle Material, Polypropylene*

## Abstract

A company in Sidoarjo specializing in plastic molding produces a motorcycle front luggage compartment using the injection molding method. The injection machine used for this production is a Lancing-150T type. Most of the products made by this company, including the motorcycle front luggage compartment, utilize recycled materials. Recycled materials can be obtained at a relatively low cost; however, their quality is not as good as new plastic pellets. This issue creates a challenge in determining the optimal parameters for the product due to the lower material quality, leading to defects such as warpage in some products. This study aims to analyze and optimize the production process parameters for the motorcycle front luggage compartment using the Taguchi method, with the expectation of reducing warpage defects without significantly increasing production costs. The experiment results revealed that the optimal parameters are an injection temperature of 190 °C, a cooling time of 33 seconds, and a composition of 30% new raw materials.

**Keywords:** *Injection Molding, Warpage, Taguchi, Recycle Material, Polypropylene*

---

\* [fipka@ppns.ac.id](mailto:fipka@ppns.ac.id)

## 1. Pendahuluan

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 (Rosato, 2004). Data BPS tahun 2022 menunjukkan bahwa pertumbuhan produksi industri karet dan plastik mengalami kenaikan tahunan sebesar 1,88%.

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.

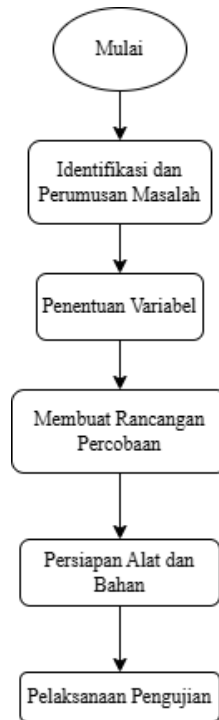
Dalam kurun 3 dekade terakhir, penggunaan *injection molding* di bidang otomotif/transportasi, elektronik, medis, dan industri *packaging* berkembang sangat pesat (Fernandes, 2016). Mesin injeksi dengan tipe *screw type* adalah jenis mesin yang banyak digunakan di industri. Mesin *injection molding* 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 diantaranya 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*.

Sebuah perusahaan di Sidoarjo yang bergerak di bidang *plastic molding* membuat sebuah produk bagasi depan motor menggunakan metode *injection molding*. Mesin injeksi yang digunakan untuk memproduksi produk bagasi depan motor adalah mesin injeksi dengan tipe Lancing-150T. Produk yang dibuat di perusahaan ini (termasuk bagasi depan motor) mayoritas menggunakan bahan daur ulang. Bahan daur ulang bisa didapatkan dengan harga yang relatif murah, namun kualitasnya tidak sebagus bahan biji plastik baru. Oleh karena itu, perlu dilakukan beberapa *trial* untuk mendapatkan setting parameter untuk mengurangi adanya cacat pada produk.

Hal tersebut menimbulkan permasalahan yaitu kesulitan dalam menentukan parameter yang optimal untuk produk tersebut dikarenakan kualitas bahan yang rendah, sehingga beberapa produk yang dihasilkan mengalami cacat *warpage*. Salah satu solusi dari permasalahan tersebut adalah dengan mencampurkan bahan biji plastik baru dengan bahan daur ulang sehingga memudahkan untuk menentukan parameter yang optimal namun tetap dapat diproduksi dengan biaya yang rendah. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis dan optimasi parameter proses produksi bagasi depan motor, dengan harapan dapat mengurangi produk dengan cacat *warpage* tanpa kenaikan biaya produksi yang signifikan. Cacat *warpage* adalah cacat produk berupa adanya cekung atau cembung pada bagian permukaan produk.

Metode Taguchi merupakan usaha peningkatan kualitas yang berfokus pada peningkatan rancangan produk dan proses. Keuntungan dari penggunaan metode Taguchi adalah dapat menemukan faktor yang berpengaruh dalam waktu yang terbatas, sehingga dapat mengurangi *handling cost* (Soejanto, 2009).

## 2. Metode Penelitian



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

## 2.1. Penentuan Variabel Respon, Variabel Bebas, dan Variabel Konstan

### 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 bagasi depan motor dari pengerjaan tersebut. 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 penelitian ini diambil 3 faktor yang dapat memengaruhi hasil penelitian diantaranya *injection temperature*, *cooling time*, dan komposisi bahan baku. Variabel bebas yang akan digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada table berikut.

### c. Variabel Konstan

Variabel konstan adalah variabel proses yang tidak diteliti. Variable 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.

## 2.2. Rancangan Percobaan

### a. Menghitung Derajat Kebebasan

Perhitungan ini dibutuhkan untuk penentuan jumlah pengujian yang harus dilakukan saat penelitian parameter mesin *injection molding*. Kode parameter *injection molding* yang akan diteliti dapat ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 1.** Kode parameter mesin injection molding

Parameter	Kode
<i>Injection Temperature</i>	A
<i>Cooling Time</i>	B
Komposisi Bahan Baku	C

Persamaan derajat kebebasan faktor maupun level adalah sebagai berikut :

$$Vn = \text{Banyaknya Level} - 1 \quad (1)$$

Dalam penelitian ini terdapat 3 faktor, sehingga didapatkan kebebasan faktor dan level seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

**Tabel 2.** Derajat Kebebasan Faktor dan Level

Kode	Derajat Kebebasan	Jumlah
A	3 - 1	2
B	3 - 1	2
C	3 - 1	2
Total derajat kebebasan faktor dan level		6

### b. Menentukan Matrik *Orthogonal Array*

Pada perhitungan derajat kebebasan faktor dan level didapatkan nilai 6. *orthogonal array* yang sesuai dengan perhitungan tersebut yaitu  $L_9(3^3)$ . Setelah itu dilakukan perhitungan total derajat kebebasan matrik *orthogonal array* dengan menggunakan persamaan 1 didapatkan nilai derajat kebebasan senilai 6.

Berdasarkan perhitungan yang diperoleh, maka penelitian ini dikatakan layak karena perhitungan matriks *orthogonal* lebih besar atau sama dengan perhitungan derajat kebebasan. Tabel berikut merupakan perhitungan matrik *orthogonal array* menggunakan *software* Minitab.

**Tabel 3.** Matriks orthogonal array dengan software minitab 18

Percobaan ke-	Variabel Bebas		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Dengan perhitungan matriks *orthogonal array* mendapatkan kombinasi pada percobaan pertama parameter A level 1, parameter B level 1, parameter C level 1. Berikut merupakan tabel desain eksperimen yang digunakan :

**Tabel 4.** Desain eksperimen

Percobaan ke-	Variabel Bebas		
	Injection Temperature (°C)	Cooling Time (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

Data penentuan nilai parameter di atas didapatkan dari hasil wawancara dengan operator mesin yang berpengalaman serta studi literatur dari penelitian sebelumnya. Kemudian pada pengujian ini dilakukan replikasi sebanyak 3 kali pada setiap variasi percobaan, maka akan terdapat 27 kali pengujian.

**Tabel 5.** Replikasi

Run	Kombinasi	Injection Temperature (°C)	Cooling Time (S)	Komposisi bahan (%)	Warpage (mm)
23	1	190	29	10	
20	2	190	29	10	
26	3	190	29	10	
11	4	190	31	20	
14	5	190	31	20	
17	6	190	31	20	
2	7	190	33	30	
5	8	190	33	30	
8	9	190	33	30	
12	10	200	29	20	
15	11	200	29	20	
18	12	200	29	20	
3	13	200	31	30	
6	14	200	31	30	
9	15	200	31	30	
21	16	200	33	10	
24	17	200	33	10	
27	18	200	33	10	
7	19	210	29	30	
4	20	210	29	30	
1	21	210	29	30	
25	22	210	31	10	
22	23	210	31	10	
19	24	210	31	10	
16	25	210	33	20	
13	26	210	33	20	
10	27	210	33	20	

## 2.3. Persiapan Alat dan Bahan

### 1. 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 2.** Mesin *injection molding*

### 2. Material Daur Ulang

Material yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu adalah bahan daur ulang yang didapatkan dari limbah plastik yang kemudian digiling menggunakan mesin *crusher*. Material ini merupakan material yang digunakan dalam produksi bagasi depan motor saat ini. Gambar di bawah ini merupakan bahan daur ulang yang akan digunakan.



**Gambar 3.** Material daur ulang

### 3. Material Biji Plastik

Material biji plastik yang akan digunakan dalam penelitian ini berjenis PP (*Polypropylene*). Material ini digunakan untuk bahan campuran dalam eksperimen ini. Gambar di bawah ini merupakan material biji plastik PP yang akan digunakan.



**Gambar 4.** Material biji plastik

### 4. Laptop

Penelitian ini membutuhkan laptop yang dilengkapi dengan software Minitab. Software ini digunakan untuk proses penentuan komposisi bahan dan parameter yang optimal menggunakan metode Taguchi. Gambar di bawah ini merupakan laptop dengan tampilan *software* minitab untuk menganalisa faktor dan responnya.

### 5. *Height Gauge*

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



Gambar 5. Height gauge

#### 2.4. Pelaksanaan Pengujian

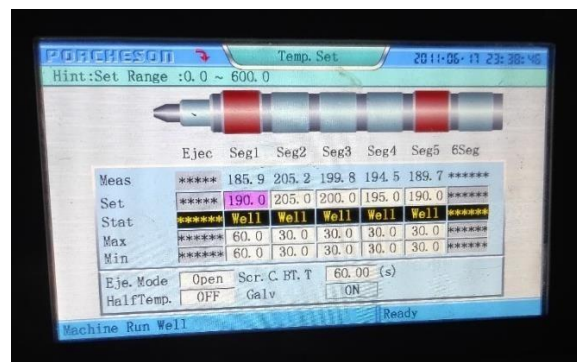
Langkah percobaan proses *injection molding* adalah sebagai berikut :

1. Memasukkan material ke dalam hopper dengan campuran bahan biji plastik baru sebanyak level parameter yang telah ditentukan. Level 1 sebanyak 10 %, level 2 sebanyak 20 %, dan level 3 sebanyak 30%.



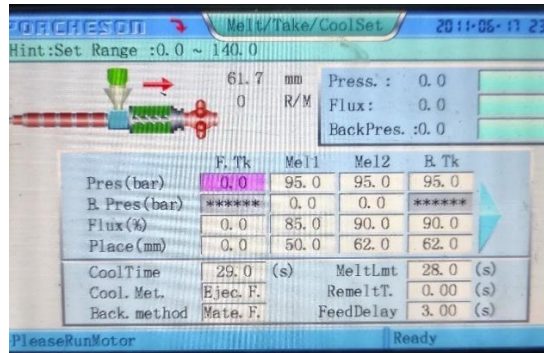
Gambar 6. Campuran bahan daur ulang dan biji plastik baru

2. Mengatur *injection temperature* sesuai dengan level parameter yang sudah ditentukan. Level 1 adalah 190 °C, level 2 adalah 200 °C, dan level 3 adalah 210 °C.



Gambar 7. Pengaturan parameter *injection temperature*

3. Mengatur *cooling time* sesuai dengan level parameter yang sudah ditentukan. Level 1 adalah 29 S, level 2 adalah 31, dan level 3 adalah 33 S.









Gambar 8. Pengaturan parameter *cooling time*


a. Pengambilan Data










Produk yang telah dilakukan pengujian akan diberi penomoran sesuai dengan variabel pelaksanaan eksperimen. Pengambilan data untuk cacat *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. Penghitungan luas area produk yang mengalami *warpage* menggunakan *software fusion 360*.

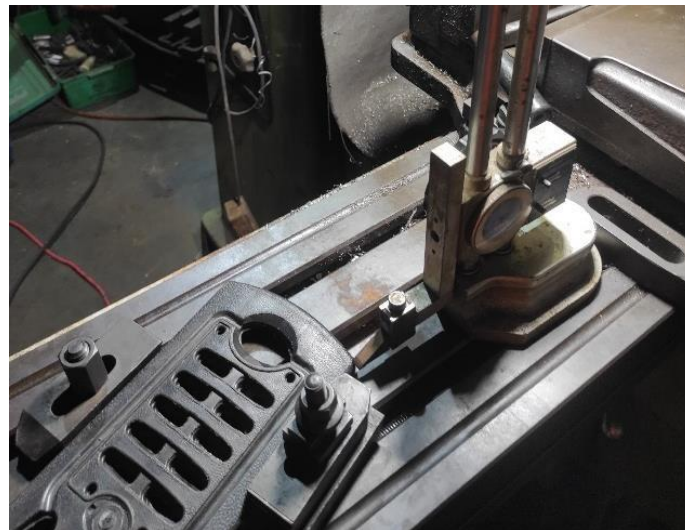
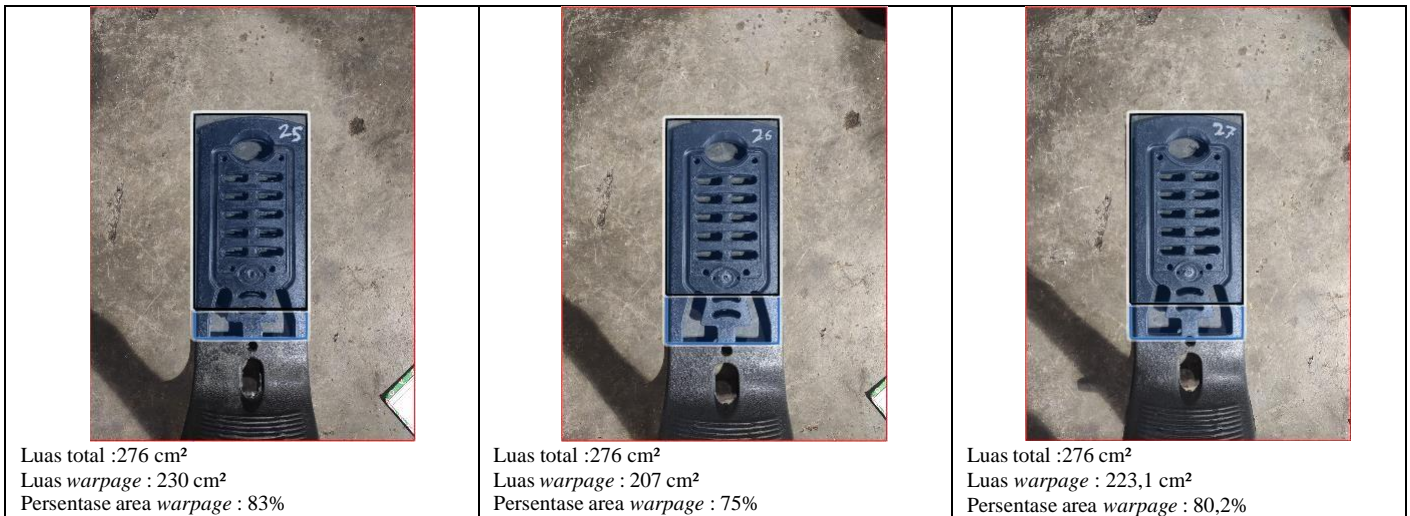
Tabel 6. Pengukuran luas area *warpage*

 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup>                  Luas <i>warpage</i> : 179,4 cm<sup>2</sup>                  Persentase area <i>warpage</i> : 65%</p>	 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup>                  Luas <i>warpage</i> : 119,6 cm<sup>2</sup>                  Persentase area <i>warpage</i> : 43%</p>	 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup>                  Luas <i>warpage</i> : 213,9 cm<sup>2</sup>                  Persentase area <i>warpage</i> : 77,5%</p>
 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup>                  Luas <i>warpage</i> : 184 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup>                  Luas <i>warpage</i> : 132,25 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup>                  Luas <i>warpage</i> : 204,7 cm<sup>2</sup></p>



Persentase area warpage : 60%	Persentase area warpage : 47,9%	Persentase area warpage : 74,5%
 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup>                  Luas warpage : 175,95 cm<sup>2</sup>                  Persentase area warpage : 63,75%</p>	 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup>                  Luas warpage : 132,25 cm<sup>2</sup>                  Persentase area warpage : 47,9%</p>	 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup>                  Luas warpage : 200,1 cm<sup>2</sup>                  Persentase area warpage : 72,5%</p>
 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup>                  Luas warpage : 141,45 cm<sup>2</sup>                  Persentase area warpage : 51,25%</p>	 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup>                  Luas warpage : 152,95 cm<sup>2</sup>                  Persentase area warpage : 55,4%</p>	 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup>                  Luas warpage : 236,9 cm<sup>2</sup>                  Persentase area warpage : 85,8%</p>
 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup>                  Luas warpage : 133,4 cm<sup>2</sup>                  Persentase area warpage : 48,3%</p>	 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup>                  Luas warpage : 158,7 cm<sup>2</sup>                  Persentase area warpage : 57,5%</p>	 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup>                  Luas warpage : 241,5 cm<sup>2</sup>                  Persentase area warpage : 87,5%</p>

 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup> Luas warpage : 148,35 cm<sup>2</sup> Persentase area warpage : 53,75%</p>	 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup> Luas warpage : 151,8 cm<sup>2</sup> Persentase area warpage : 55%</p>	 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup> Luas warpage : 138 cm<sup>2</sup> Persentase area warpage : 50%</p>
 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup> Luas warpage : 227,7 cm<sup>2</sup> Persentase area warpage : 82,5%</p>	 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup> Luas warpage : 218,5 cm<sup>2</sup> Persentase area warpage : 79,15%</p>	 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup> Luas warpage : 230 cm<sup>2</sup> Persentase area warpage : 83%</p>
 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup> Luas warpage : 203,55 cm<sup>2</sup> Persentase area warpage : 73,75%</p>	 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup> Luas warpage : 209,3 cm<sup>2</sup> Persentase area warpage : 75,8%</p>	 <p>Luas total :276 cm<sup>2</sup> Luas warpage : 233,45 cm<sup>2</sup> Persentase area warpage : 84,6%</p>



Gambar 9. Pengukuran warpage

## b. Analisis dan Pengolahan Data

### 1. Perhitungan rasio S/N

Perhitungan rasio S/N bertujuan untuk mengetahui level dari variabel bebas yang berpengaruh pada variabel respon yang diinginkan. Dalam penelitian ini dipilih kategori *smaller is better* karena respon yang dipilih jika semakin kecil maka akan semakin baik. Rasio S/N dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\frac{s}{N} = -10 \log\left(\frac{y^2}{n}\right) \quad (2)$$

Dengan :

y = Rata-rata pengamatan

n = Besarnya varian

### 2. Perhitungan Parameter Optimal

Perhitungan parameter optimal Untuk mengetahui level yang paling optimal dan berpengaruh terhadap respon, dapat diketahui dengan melakukan perhitungan parameter optimal.

### 3. Prediksi Optimal

Prediksi optimal bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang berkaitan secara signifikan dan berpengaruh terhadap variabel respon pada level parameter yang optimal.

#### 4. Interval kepercayaan

Interval kepercayaan meliputi interval yang terdiri dari nilai maksimum dan minimum yang mencakup rata-rata.

### c. Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi perlu dilakukan untuk memeriksa kesimpulan yang didapat. Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan mengambil kombinasi dari level-level yang didapat dari hasil percobaan. Percobaan ini dilaksanakan dengan kondisi faktor dan level pada kondisi yang optimal.

### 3. Hasil dan Diskusi

#### 3.1. Pengambilan Data

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 biji plastik (*polypropylene*) dan memasukkan material biji plastik ke dalam *hopper*. Kemudian mengatur beberapa parameter yang dianggap konstan, dan parameter bebas seperti *injection temperature*, *cooling time*, dan komposisi bahan baku sesuai dengan rancangan penelitian. 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 7.** Data Hasil Percobaan

Kombinasi	Variabel Bebas			R1		R2		R3	
	<i>Injection Temperature</i> (°C)	<i>Cooling Time</i> (S)	Komposisi Bahan (%)	<i>Warpage</i> (mm)	Luasan Area (%)	<i>Warpage</i> (mm)	Luasan Area (%)	<i>Warpage</i> (mm)	Luasan Area (%)
1	190	29	10	12,65	79,15	12,09	75,8	12,19	75
2	190	31	20	8,87	55,4	9,15	57,5	8,68	55
3	190	33	30	6,89	43	7,67	47,9	7,43	47,9
4	200	29	20	13,72	85,8	13,92	87,5	13,47	50
5	200	31	30	12,37	77,5	11,91	74,5	11,6	72,5
6	200	33	10	13,33	83	13,52	84,6	12,92	80,2
7	210	29	30	10,38	65	10,61	60	10,19	63,75
8	210	31	10	13,16	82,5	11,82	73,75	13,33	83
9	210	33	20	8,2	51,25	7,71	48,3	8,57	53,75

#### 3.2. Perhitungan Rasio S/N

Perhitungan rasio *S/N warpage* dengan data hasil percobaan pada tiap-tiap kombinasi pada tabel 4.1. Perhitungan rasio *S/N warpage* ini menggunakan karakteristik *smaller is better*, dimana nilai data semakin kecil maka semakin bagus karena cacat yang dihasilkan akan semakin kecil. Hasil perhitungan rasio *S/N warpage* secara keseluruhan ditunjukkan pada tabel 8.

**Tabel 8.** Data Hasil Perhitungan Rasio S/N

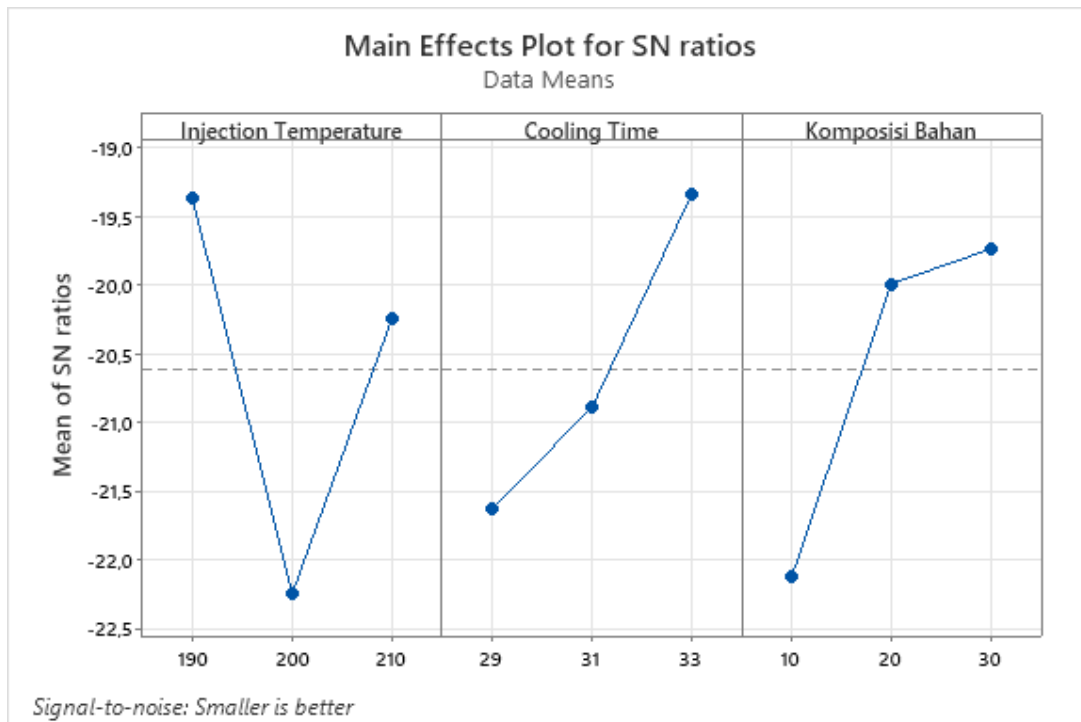
Kombinasi	Variabel Bebas			Rasio S/N
	<i>Injection temperature</i> (°C)	<i>Cooling time</i> (S)	Komposisi bahan (%)	
1	190	29	10	-21,8069
2	190	31	20	-18,9898
3	190	33	30	-17,3107
4	200	29	20	-22,7373
5	200	31	30	-21,5577
6	200	33	10	-22,4502
7	210	29	30	-20,3363
8	210	31	10	-22,1359
9	210	33	20	-18,2419

#### 3.3. Perhitungan Parameter Optimal

Untuk mengetahui level yang paling optimal dan berpengaruh terhadap respon, dapat diketahui dengan melakukan perhitungan parameter optimal. Hasil perhitungan parameter optimal dengan menggunakan data pada tabel 8 disajikan pada tabel 9. Berdasarkan nilai tabel 9 disajikan dalam grafik level faktor parameter optimal untuk *warpage* pada gambar 10.

**Tabel 9.** Perhitungan Parameter Optimal

Level	Injection Temperature	Cooling Time	Komposisi Bahan
1	-19,37	-21,63	-22,13
2	-22,25	-20,89	-19,99
3	-20,24	-19,33	-19,73
Delta	3,077	5,0497	2,574
Rank	2	1	3



**Gambar 10.** Grafik Level Parameter Optimal untuk Warpage

Dari hasil pengolahan data didapatkan bahwa parameter optimal adalah *injection temperature* 190 °C, *cooling time* 33 S, dan komposisi bahan baru 30%. Semua parameter memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *warpage*. Parameter yang paling berpengaruh adalah *cooling time*, kedua adalah *injection temperature*, dan terakhir adalah komposisi bahan. Berdasarkan grafik parameter optimal, semakin kecil *injection temperature* maka semakin optimal karena proses pendinginan material dari plastik leleh sampai mengeras akan lebih cepat. Semakin besar *cooling time* maka *warpage* akan semakin kecil karena proses pendinginan menjadi lebih lama sehingga proses pengerasan produk akan lebih merata dan ketika pin mendorong produk, tidak terjadi perubahan bentuk (*warpage*) pada produk. Semakin besar komposisi bahan baru, maka semakin kecil *warpage* karena kualitas bahan yang lebih baik dari bahan daur ulang

### 3.4. Prediksi Optimal

Prediksi optimal bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang berkaitan secara signifikan dan berpengaruh terhadap variabel respon pada level parameter yang optimal. Data yang digunakan adalah nilai *Injection Temperature* level 1, *Cooling Time* level 3, dan Komposisi Bahan level 1. Perhitungan prediksi optimal adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 S/N_{\text{Prediksi}} &= \gamma_m + \sum_{i=1}^a \gamma_i + \gamma_m & (3) \\
 &= y + (A_1 - y) + (B_3 - y) + (C_3 - y) \\
 &= -20,63 + (-19,37 - (-20,63)) + (-19,33 - (-20,63)) + (-19,73 - (-20,63)) \\
 &= -20,63 + 1,26 + 1,3 + 0,9 \\
 &= -17,17
 \end{aligned}$$

### 3.5. Interpretasi Hasil

Interpretasi hasil dilakukan setelah adanya percobaan dan analisa percobaan. Interpretasi hasil percobaan ini membutuhkan presentase kontribusi dan interval kepercayaan faktor kondisi perlakuan Ketika melakukan percobaan. Interval kepercayaan dibutuhkan untuk mengetahui nilai maksimum dan minimum dari kombinasi level faktor optimal. Tingkat kepercayaan dalam eksperimen ini adalah 95% dengan  $F_{Tabel}$  yaitu  $F_{(0,05;1;2)} = 18,513$ . Perhitungan interval kepercayaan adalah sebagai berikut :

$$\eta_{eff} = \frac{9 \times 3}{1+2+2+2} \quad (4)$$

$$= 3,857$$

$$CI_p = \sqrt{\frac{F_{tabel} \cdot MSE}{\eta_{eff}}} \quad (5)$$

$$= \sqrt{\frac{(18,513) \cdot (0,029)}{3,857}}$$

$$= 0,3731$$

$$S/N_{Prediksi} - CI_p \leq S/N_{Prediksi} \leq S/N_{Prediksi} + CI_p \quad (6)$$

$$-17,17 - 0,3731 \leq S/N_{Prediksi} \leq -17,17 + 0,3731$$

$$-17,5431 \leq S/N_{Prediksi} \leq -16,7969$$

### 3.6. Eksperimen Konfirmasi

Percobaan konfirmasi dilakukan untuk mengonfirmasi data hasil analisa serta mengonfirmasi faktor dan level dari analisa yang telah dilakukan. Kombinasi parameter optimal yang diperoleh dari analisa data sebelumnya adalah *injection temperature* 190 °C, *cooling time* 33 S, dan komposisi bahan 30 %. Eksperimen konfirmasi dilakukan sebanyak 3 kali replikasi dengan parameter seperti di atas. Data hasil eksperimen konfirmasi ditunjukkan dalam tabel 10 berikut.

**Tabel 10.** Data hasil eksperimen konfirmasi

Injection Temperature	Cooling Time	Komposisi Bahan	R1		R2		R3	
			Warpage (mm)	Luas area (%)	Warpage (mm)	Luas area (%)	Warpage (mm)	Luas area (%)
190	33	30	7,2	45	6,82	42,5	6,45	40,4

Setelah melakukan eksperimen konfirmasi menggunakan kombinasi parameter yang optimal, selanjutnya dilakukan perhitungan rasio S/N dan selang kepercayaan.

#### 1. Perhitungan rasio S/N

Perhitungan rasio S/N dari data hasil eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut :

$$S/N = -10 \log \left( \frac{7,2^2 + 6,82^2 + 6,45^2}{3} \right)$$

$$= -16,6887$$

#### 2. Selang kepercayaan

Tingkat kepercayaan dalam eksperimen ini adalah 95% dengan  $F_{Tabel}$  yaitu  $F_{(0,05;1;2)} = 18,513$  dan  $r = 3$ . Perhitungan interval kepercayaan adalah sebagai berikut :

$$\eta_{\text{eff}} = \frac{9 \times 3}{1+2+2+2}$$

$$= 3,857$$

$$CI_k = \sqrt{F_{\text{tabel}} \cdot MS_E \left( \frac{1}{\eta_{\text{eff}}} + \frac{1}{r} \right)} \quad (7)$$

$$= \sqrt{18,513 \cdot 0,029 \left( \frac{1}{3,857} + \frac{1}{3} \right)}$$

$$= 0,564$$

$$S/N_{\text{Konfirmasi}} - CI_k \leq S/N_{\text{Konfirmasi}} \leq S/N_{\text{Konfirmasi}} + CI_k$$

$$-16,6887 - 0,564 \leq S/N_{\text{Konfirmasi}} \leq -16,2516 + 0,564$$

$$-17,2527 \leq S/N_{\text{Konfirmasi}} \leq -16,1247$$

Data hasil interval kepercayaan dapat dilihat dalam tabel 11 di bawah ini.

**Tabel 11.** Hasil interval kepercayaan

Eksperimen	Nilai Interval Kepercayaan
Prediksi	- 17,17 ± 0,3731
Konfirmasi	- 16,6887 ± 0,564

Pada tabel 11 dapat dilihat bahwa interval kepercayaan eksperimen konfirmasi berada dalam interval kepercayaan prediksi sehingga kombinasi faktor dan level desain eksperimen Taguchi dinyatakan valid dan dapat diterima.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa data yang telah dilaksanakan, dapat disimpulkan analisis menggunakan metode Taguchi yang telah dilakukan, didapatkan parameter optimal untuk meminimalisir *warpage* yaitu *injection temperature* 190 °C, *cooling time* 33 S, dan komposisi bahan baku baru 30%.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini tentunya tidak dapat terlaksana tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam pelaksanaan serta penyusunan penelitian ini.

#### 6. Daftar Pustaka

- Anhar, M. A. (2018). Optimasi Parameter Proses Blow Moulding Terhadap Ketebalan dan Dimensi Snap Pada Botol Dengan Metode Taguchi Grey Relational Analysis. Tugas Akhir, Teknik Desain dan Manufaktur. PPNS.
- Fernandes, C., Jose Pontes, A., Cesar Viana, J., & Gaspar-cunha, A. (2016). Modeling and Optimization of the Injection-Molding Process: A Review. *Advances in Polymer Technology*, Vol. 37, No. 2, 1-21.
- Fu, H., Xu, H., Liu, Y., Yang, Z., Kormakov, S., Wu, D., & Sun, J. (2020). Overview of Injection Molding Technology for Processing Polymers and Their Composites. *ES Material & Manufacturing*, 3-23.
- 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.
- 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 (SENIATI) 2016*, 166-171.

- Patrick, S. (2005). *Practical Guid to Polyvinyl Chloride*. Shropsire: Rapra Technology Limited.
- Pertumbuhan Produksi Triwulanan Q to Q menurut 2-digit KBLI (Persen), 2022. Diakses pada 26 Desember 2023 dari <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/Mzk5IZI=/pertumbuhan-produksi-triwulanan-q-to-q-menurut-2-digit-kbli.html>
- Pötsch, Gerd, and Walter Michaeli. 1995. *Injection Molding : An Introduction*. Hanser Pub Inc.
- Prasad, P. D. (2021). Analyzation of Various Local Surface Defects in Injection Moulding Process. *Renewable Research Journal*, 9-16.
- 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.
- Rosato, D. V., Rosato, D. V., & Rosato, M. V. (2004). *Plastic Product Material and Process Selection Handbook*. Oxford: Elsevier Advanced Technology.
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. Diakses pada 26 Desember 2023 dari <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- Soejanto, Irwan. 2009. *Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi*. Graha Ilmu.
- Sulistiyanto, D. (2016). *Analisis Parameter Injection Molding Terhadap Waktu Siklus Tutup Botol 500 ml Menggunakan Desain Box-behnken*. Skripsi, Teknik Mesin. Universitas Negeri Jember.
- Sunanto, M. F. (2016). *Analisis Pengaruh Parameter Blowing Pressure, Barrel Temperature, Blowing Time, Dan Stop Time Terhadap Volume Dan Berat Botol Tempat Cairan Pengilap Bodi Kendaraan. Tugas Akhir, Teknik Desain dan Manufaktur*. PPNS.
- 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.