

Optimasi Produk Plastik pendekatan Taguchi *Mixed Level* pada Faktor Interaksi Injeksi Molding

Muhammad Ahsan⁽¹⁾, Galuh Kusuma W⁽²⁾, and Salman Alfarizi P A⁽³⁾

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Jl. Teknik Mesin No.175, Keputih, Sukolilo Telp. (031) 5943352 Surabaya 60115

e-mail: muh.ahsan@its.ac.id⁽¹⁾, galuhkusuma14@gmail.com⁽²⁾, dan s_alfarizi98@yahoo.com⁽³⁾

ABSTRAK

Penelitian parameter injeksi molding diperlukan untuk meminimalkan produk cacat penyusutan (*shrinkage*). Diharapkan perbaikan penelitian yang mengintegrasikan metode Taguchi untuk mengoptimalkan parameter injeksi serta interaksi yang mungkin terjadi. Berdasarkan uraian tersebut permasalahan yang dibahas adalah bagaimana mendapatkan parameter terbaik untuk optimasi produk plastik menggunakan pendekatan taguchi *mixed level* dengan 6 faktor faktor interaksi injeksi molding dan variasi level. Metode Taguchi merupakan suatu metode pengendalian kualitas sebelum proses berlangsung, *orthogonal array* yang akan digunakan $L_{18}(2^13^5)$ sesuai dengan jumlah faktor sebanyak 6 dan menggunakan *mixed level*. Variabel respon *shrinkage* diukur dari plastik *tray* yang terbuat dari campuran polimer atau poliblend. Faktor yang digunakan yaitu dengan memvariasikan *injection speed* (kecepatan injeksi), *melting temperature* (suhu leleh), *injection pressure* (tekanan injeksi), *holding pressure* (tekanan penahanan), *holding time* (waktu penahanan) dan *cooling time* (waktu pendinginan). Parameter optimal tanpa efek interaksi dengan kondisi optimum adalah kecepatan injeksi (90 %rpm), suhu leleh (240 °C), tekanan injeksi (110 bar), tekanan penahanan (96 bar), waktu penahanan (5 detik), dan pendinginan waktu (10 detik). Parameter optimal dengan efek interaksi kondisi optimum yaitu suhu leleh (240 °C), tekanan injeksi (110 bar), tekanan penahanan (80 bar), waktu penahanan (5 detik), dan waktu pendinginan (10 detik). Kontribusi parameter dengan interaksi adalah suhu leleh (56,65%), interaksi suhu leleh dan tekanan injeksi (15,75%), waktu pendinginan (11,12%), dan kekuatan tekanan (7,83%).

Kata kunci : Injeksi Molding, Mixed Level, Taguchi, Interaksi.

ABSTRACT

Injection molding parameter research is required to minimize product shrinkage defects. Expected improvement of research that integrates Taguchi method to optimize injection parameters as well as possible interactions. Based on this description, the problem discussed is how to get the best parameters for plastic product optimization on injection molding interaction factors with taguchi mixed level approach. Taguchi is a method of quality control before the process takes place, orthogonal array to be used $L_{18}(2^13^5)$ according to the number of factors as much as 6 and using mixed level. Shrinkage response variable measured from plastic tray made of a mixture of polymers or poliblend. Factors used are by varying the injection speed, melting temperature, injection pressure, holding pressure, holding time and cooling time. The optimal parameters without interaction effect with optimum conditions are injection speed (90% rpm), melting temperature (240 °C), injection pressure (110 bar), holding pressure (96 bar), holding time (5 seconds), and cooling time (10 seconds). Optimal parameters with the effect of the interaction of optimum conditions ie. melting temperature (240 °C), injection pressure (110 bar), holding pressure (80 bar), holding time (5 seconds), and cooling time (10 seconds). The contribution of parameter with interaction is melting temperature (56.65%), interaction of melting temperature and injection pressure (15.75%), cooling time (11.12%), and pressure strength (7.83%).

Keywords : Injection Molding, Mixed Level, Taguchi, Interaction.

PENDAHULUAN

Saat ini penggunaan plastik menjadi kebutuhan hampir setiap orang, plastik disukai karena mudah digunakan dan diproduksi secara masal. Hal ini diikuti peningkatan kualitas proses pembuatan plastik untuk meningkatkan produktivitas, pada industri manufaktur proses injeksi molding berperan besar dalam pengolahan plastik. Penelitian parameter injeksi molding diperlukan agar meminimalkan banyaknya produk cacat [1]. *Shrinkage, Warpage, sink marks* dan *weld lines* merupakan cacat yang banyak terjadi pada injeksi molding. Parameter proses meliputi kecepatan injeksi, tekanan injeksi, tekanan ketahanan, suhu leleh, waktu ketahanan, waktu pendinginan, dan lainnya. Penelitian sebelumnya telah banyak dilakukan untuk meningkatkan dan mengoptimalkan kualitas produk plastik pada mesin injeksi molding [2]. Terdapat juga penelitian mengenai kerangka general untuk mengoptimalkan injeksi molding plastik dengan parameter suhu leleh, suhu molding, tekanan injeksi, waktu injeksi, injeksi pengepakan, waktu pengepakan, dan sebagainya [3], Penelitian lainnya membahas mengenai seleksi parameter injeksi molding menggunakan metode taguchi dan ANOVA [4]. Penentuan parameter proses yang optimal secara rutin dilakukan di bidang industri injeksi molding plastic yang memiliki pengaruh langsung pada kualitas. Penelitian sebelumnya kurang memperhatikan interaksi parameter dan *mixed level* yang kemungkinan besar mempengaruhi kualitas produk dan biaya, seperti pada penelitian *Job Stress As A Predictor Of Employee Health* [5], serta pada penelitian [6] dengan judul *Optimization of plastic injection molding process parameters for manufacturing a brake booster valve body*.

Diharapkan perbaikan penelitian yang mengintegrasikan metode Taguchi untuk mengoptimalkan parameter injeksi serta interaksi yang mungkin terjadi. Pengaturan parameter pada proses injeksi berhubungan erat dengan hasil suatu produk plastik. Penentuan parameter proses yang kurang akan menyebabkan hasil akhir suatu produk plastik cacat. Salah satu cacat yang dihasilkan adalah cacat *sink marks*. Penelitian mengenai cacat *sink marks* dengan menggunakan metode taguchi telah dilakukan dengan parameter *mold surface temperature, melt temperature, mold open time dan injection pressure* [7].

Metode Taguchi merupakan metode desain yang telah distandarisasi agar dengan mudah digunakan peneliti, selain itu mengatasi limitasi faktorial dan percobaan fraksional factorial [8]. Pada metode taguchi biasanya akan mempertimbangkan definisi kualitas, standarisasi DOE, strategi *robust design, loss function, analisis signal to noise (S/N)* [9]. Berdasarkan uraian tersebut permasalahan yang akan dibahas adalah bagaimana mendapatkan parameter terbaik untuk optimasi produk plastik dengan pendekatan metode taguchi *mixed level* pada faktor interaksi injeksi molding.

KAJIAN PUSTAKA

A. Taguchi

Metode Taguchi ditemukan oleh Dr. Genichi Taguchi. Metode ini merupakan suatu metode pengendalian kualitas sebelum proses berlangsung atau sering juga dinamakan *off-line quality control*. Riset tersebut sering kali menggunakan teknik *Design of Experiment* (DOE).

Design of Experiment (DOE) menggunakan seperangkat matriks khusus yang disebut *orthogonal array*, langkah untuk mengelompokkan faktor-faktor yang berpengaruh pada proses dan level-level yang bervariasi sehingga dapat memperoleh kualitas yang baik, serta menentukan

jumlah eksperimen minimal yang dapat memberikan informasi-informasi dari semua faktor yang berpengaruh terhadap parameter.

B. Klasifikasi Karakteristik Kualitas

Menurut [10], terdapat lima klasifikasi karakteristik kualitas. Kelima klasifikasi karakteristik kualitas tersebut adalah :

a. *Nominal-the-best*

Nominal-the-best adalah karakteristik kualitas yang dapat diukur dengan target yang spesifik. Nilai dari target tersebut dapat berupa bilangan positif maupun negatif. Contohnya adalah penyinaran lampu LED pada kendaraan bermotor tidak terlalu terang tidak terlalu redup.

b. *Smaller-the-better*

Karakteristik kualitas *smaller-the-better* memiliki nilai non-negatif. Karakteristik kualitas ini dapat diukur dan memiliki nilai target nol (0). Contoh dari karakteristik kualitas *smaller-the-better* adalah nilai penyusutan pada busa spandex terkecil merupakan produk yang terbaik.

c. *Larger-the-better*

Karakteristik kualitas *larger-the-better* memiliki nilai non-negatif. Karakteristik kualitas ini dapat diukur dan memiliki nilai target tidak terhingga (*infinity*, ∞). Contoh kekuatan produksi mobil pickup, dimana mobil yang chasis mampu menahan bobot terberat itu lebih baik.

d. *Signed-target*

Signed-target adalah karakteristik kualitas yang dapat diukur. Karakteristik kualitas ini memiliki nilai target nol (0). Karakteristik kualitas ini berbeda dengan karakteristik kualitas *smaller-the-better*. *Signed-target* dapat memiliki nilai negatif. Contoh dari karakteristik kualitas ini adalah aliran arus listrik dalam suatu wahana permainan.

e. *Classified attribute*

Karakteristik kualitas atribut klasifikasi (*classified attribute*) adalah karakteristik kualitas yang memiliki skala diskret. Biasanya penilaian kualitas pada karakteristik ini berdasarkan penilaian subjektif. Terdapat skala diskret seperti Baik-Buruk, Setuju-Tidak Setuju, maupun Puas-tidak puas.

C. Faktor Variasi Proses *Injection Molding*

Variasi parameter proses berguna untuk menghasilkan suatu produk plastik dengan kualitas yang paling optimal. Pendekatan untuk *setting* parameter guna pengoptimalan produk plastik disini adalah dengan pendekatan kecacatan *shrinkage* [11]. Kecacatan dapat dipengaruhi oleh beberapa *setting* parameter, yaitu:

a. Temperatur leleh (*melt temperature*) adalah batas temperatur dimana bahan plastik mulai meleleh apabila diberikan *setting* temperatur dinaikkan.

b. Waktu penekanan (*holding time*) adalah lamanya waktu yang diperlukan untuk memberikan tekanan untuk mendorong lalu menahan cairan plastik yang sudah meleleh didalam barrel sehingga plastik cair tidak kembali kedalam barrel.

c. Waktu pendinginan (*cooling time*) adalah waktu pendinginan setelah cairan plastik diinjeksikan ke dalam cetakan agar cepat menjadi produk.

- d. Tekanan injeksi (*injection pressure*) merupakan tekanan yang digunakan untuk menginjeksi cairan plastik kedalam cetakan. Tekanan ini dipengaruhi oleh luas proyeksi benda dan gaya yang dibutuhkan
- e. Kecepatan Injeksi (*Injection Speed*) merupakan kecepatan mesin dalam menyemprotkan plastik polimer ke cetakan yang berada di bawahnya.
- f. Kekuatan Tekanan (*Holding Pressure*) adalah kekuatan tekanan untuk menekan biji plastik polimer yang berada pada wadah.

D. Orthogonal Array

Orthogonal array merupakan suatu “jalan pintas” dalam melakukan *design of experiment* (Roy, 1990). Faktor-faktor yang ada tersebut dapat berubah sesuai dengan level pada faktor tersebut. Lambang dari orthogonal array dapat dilihat pada contoh berikut ini.

$$L_n(m^p)$$

Lambang tersebut memiliki arti:

L : *Latin Square*. Notasi memberikan gambaran informasi *orthogonal array*.

n : Jumlah baris yang mewakili jumlah eksperimen yang akan dilakukan.

m : Level yang ada pada eksperimen.

p : Jumlah faktor yang mewakili jumlah kolom yang ada.

E. Signal to Noise (S/N Ratio)

Percobaan atau eksperimen *robust design* memiliki fungsi objektif. Fungsi objektif tersebut sering disebut dengan *signal to noise ratio* atau S/N Ratio. S/N Ratio digunakan untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas yang ada [12]. Perhitungan S/N ratio bergantung dengan karakteristik kualitas yang diinginkan.

a. Mean Squared Deviation (MSD)

Beberapa tujuan dari eksperimen *robust design* adalah meminimalkan sensitivitas dari faktor *noise* yang ada terhadap karakteristik kualitasnya. Beberapa keputusan yang diambil mungkin berasal dari MSD.

b. S/N Ratio *smaller-the-better* (SNR S)

Karakteristik kualitas untuk *smaller-the-better* memiliki nilai tujuan nol (0). Contoh dari karakteristik kualitas untuk *smaller-the-better* adalah nilai polusi yang dihasilkan dari sebuah perusahaan. Maka yang harus dilakukan adalah maksimasi S/N Ratio *smaller-the-better*. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

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

c. S/N Ratio *nominal-the-best* (SNR N)

Karakteristik kualitas dari *nominal-the-best* memiliki nilai yang kontinyu dan *non-negative*. Nilai tersebut antara nol (0) hingga tidak terhingga (∞). Fungsi tujuan dari *nominal-the-*

best adalah maksimasi S/N Ratio *nominal-the-best*. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

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

d. S/N Ratio *larger-the-better* (SNR L)

Target dari karakteristik kualitas *larger-the-better* adalah memperoleh nilai sebesar mungkin (∞). Fungsi tujuan dari S/N Ratio *larger-the-better* adalah maksimasi S/N Ratio *larger-the-better*. Rasio S/N untuk karakteristik ini dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

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

F. Analysis of Variance (ANOVA)

Analisis ragam pada metode Taguchi digunakan sebagai metode statistik untuk menginterpretasikan data hasil percobaan. Tujuan dari analisis varians (ANOVA) adalah untuk temukan parameter mana yang secara signifikan memengaruhi kualitas. Analisis variansi adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam desain secara statistik [13].

Tabel 1 Parameter Injeksi Molding dan Level

Sumber Variasi	Sum of Square (SS)	Degrees of Freedom (df)	Mean Square (MS)	F Ratio
Variabel Proses A	$SS_A = n_A \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{y})^2$	$d_A - 1$	$MSA = \frac{SS_A}{df_A}$	$\frac{MSA}{MSE}$
Variabel Proses B	$SS_B = n_B \sum_{i=1}^n (B_i - \bar{y})^2$	$d_B - 1$	$MSB = \frac{SS_B}{df_B}$	$\frac{MSB}{MSE}$
Interaksi AB	$SS_{AB} = \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{x_{ij}^2}{n_A} - \frac{T}{n_{AB}}$	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{df_{AB}}$	$\frac{MS_{AB}}{MSE}$
Error	$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B$	$ab(n - 1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{df_E}$	
Total	$SS_A = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$	$n - 1$		

Uji distribusi F, menunjukkan bukti adanya perbedaan pengaruh masing-masing faktor dalam eksperimen [13]. Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan oleh masing-masing faktor dan variansi error.

$$y_{ij} = \mu_i + e_{ij}, j = 1, 2, \dots, n_i, \text{ dan } i = 1, 2, \dots, c,$$

Dimana μ_i merupakan mean dan e_{ij} independen berdistribusi $N(0, \sigma)$. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini untuk faktor yang tidak diambil secara random (*fixed*) adalah:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_c$$

H_1 : sedikitnya ada satu pasangan μ yang tidak sama

Kegagalan menolak H_0 mengindikasikan tidak adanya perbedaan rata-rata dari nilai respon yang dihasilkan pada perlakuan yang berbeda. Tolak H_0 apabila $F \text{ ratio} \geq F_{\alpha}$.

METODE PENELITIAN

A. Analysis of Variance (ANOVA)

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diambil dari penelitian sebelumnya yang berjudul “*Application of Taguchi Method in the Optimization of Injection Moulding Parameters for Manufacturing Products from Plastic Blend*” [14]. Perbedaan dari jurnal sebelumnya adalah penggunaan *orthogonal array mixed level* untuk analisis ANOVA dan pemilihan variabel respon menggunakan rata-rata dari *shrinkage*.

Metode menggunakan inovasi dari Dr. Genichi Taguchi, Jepang yang telah sukses digunakan di bidang industry dan melengkapi aktivitas peningkatan kualitas [15]. Pendekatannya memberikan strategi eksperimental baru dengan *design of experiment* (DOE) yang dimodifikasi dan distandarisasi. Taguchi menyarankan desain fraksional faktorial dan *orthogonal array* dengan metode statistika yang sesuai, untuk penelitian ini menggunakan ANOVA. *Orthogonal array* yang akan digunakan $L_{18}(2^13^5)$ sesuai dengan jumlah faktor sebanyak 6 dan menggunakan *mixed level* yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Injeksi Molding dan Level

Faktor	Parameter	Satuan	Level 1	Level 2	Level 3
A	<i>Injection Speed</i>	rpm (%)	80	90	-
B	<i>Melting Temperature</i>	°C	220	230	240
C	<i>Injection Pressure</i>	Bar	100	110	120
D	<i>Holding Pressure</i>	Bar	80	88	96
E	<i>Holding Time</i>	sec.	5	8	10
F	<i>Cooling Time</i>	sec.	5	8	10

B. FAKTOR

Variabel respon penelitian ini menggunakan *shrinkage* dari plastik *tray* yang terbuat dari campuran polimer atau poliblend [14]. Plastik *tray* diproduksi oleh mesin injeksi molding Battenfeld TM750/210, secepat mungkin setelah tercetak setiap *tray* akan diukur panjang dan lebarnya. Setelah 24 jam diukur kembali untuk mengetahui *shrinkage*, variabel ini menunjukkan stabilitas produk.

Faktor yang digunakan seperti pada tabel 2 (Parameter Injeksi Molding dan Level) terdapat 6 faktor yang mempengaruhi variabel respon yaitu dengan memvariasikan beberapa faktor yakni:

injection speed (injeksi kecepatan) di kisaran 80 – 90 rpm (%), *melting temperature* (suhu leleh) dalam kisaran 220 – 240 °C, *injection pressure* (tekanan injeksi) dalam kisaran 100-120 bar, *holding pressure* (tekanan penahan) pada kisaran 80 – 96 bar, *holding time* (waktu penahanan) dalam kisaran 5 – 10 detik dan *cooling time* (waktu pendinginan) dalam kisaran 5 – 10 detik [14].

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rancangan Desain Optimasi Parameter

Digunakan *orthogonal array* agar lebih ekonomis dan menentukan jumlah percobaan paling minimal yang diperlukan dari sekumpulan parameter. Pemilihan *orthogonal array* yang sesuai dengan percobaan yaitu derajat kebebasan *orthogonal array* standar harus lebih besar atau sama dengan perhitungan derajat kebebasan pada percobaan [15]. *Mixed level* merupakan percobaan yang memiliki jumlah level berbeda antar faktor, Taguchi memodifikasi standar *array* agar sesuai dengan kondisinya. Desain *orthogonal array* $L_{18}(2^13^5)$ penelitian ini disajikan pada Tabel 2, bermakna terdapat 18 percobaan berdasarkan kombinasi faktor dan level, terdapat 2 level pada 1 faktor dan 3 level untuk 5 faktor lainnya. Selanjutnya analisis ini akan melihat juga interaksi antara faktor A dengan B dan faktor B dengan C menggunakan aplikasi Minitab 17. Interaksi *Injection Speed*, *Melting Temperature*, dan *Injection Pressure* didukung penelitian bahan plastic yang meleleh dipengaruhi faktor tersebut dan interaksinya secara simultan untuk menyelidiki karakter desain parameter yang optimal [16].

Table 3. *Orthogonal Array* $L_{18}(2^13^5)$ untuk Desain Percobaan Parameter Injeksi Molding

Percobaan	Faktor					
	A	B	C	D	E	F
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2
5	1	2	2	2	3	3
6	1	2	3	3	1	1
7	1	3	1	2	1	3
8	1	3	2	3	2	1
9	1	3	3	1	3	2
10	2	1	1	3	3	2
11	2	1	2	1	1	3
12	2	1	3	2	2	1
13	2	2	1	2	3	1
14	2	2	2	3	1	2
15	2	2	3	1	2	3
16	2	3	1	3	2	3
17	2	3	2	1	3	1
18	2	3	3	2	1	2

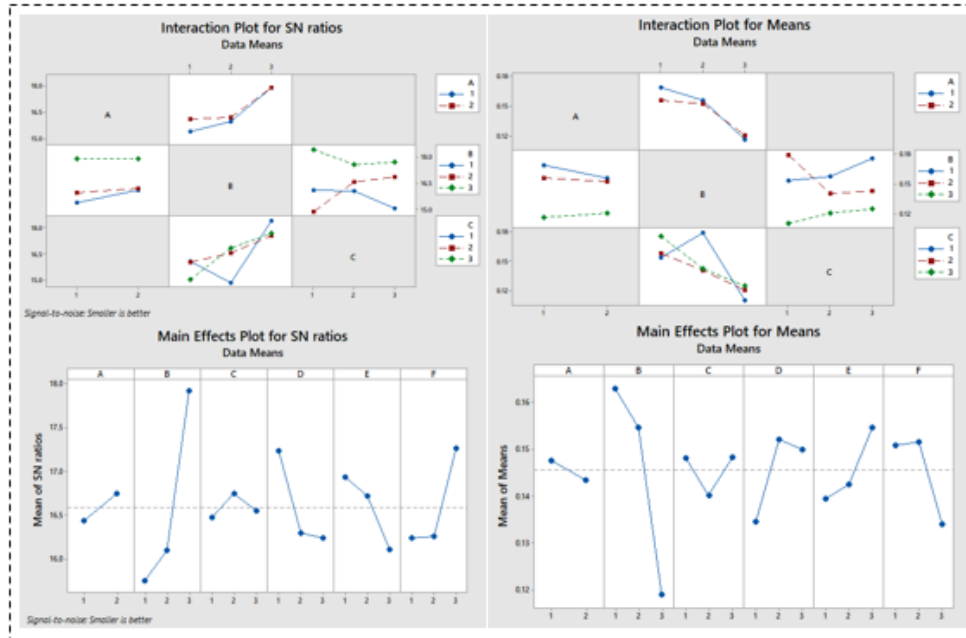
B. Hasil Analisis

Hasil pengamatan sesuai dengan desain percobaan *orthogonal array* didapatkan data pada Tabel 3 [14]. *Shrinkage* pada setiap *tray* akan diukur panjang dan lebarnya segera setelah tercetak. Setelah 24 jam diukur kembali untuk mengetahui perbedaannya, *shrinkage* merupakan cacat produk yang sering terjadi pada proses injeksi molding.

Table 4. Hasil Pengamatan *Shrinkage*

Percobaan	<i>Shrinkage</i>		<i>Mean</i>
	<i>Width</i>	<i>Length</i>	
1	0.1054	0.1752	0.1403
2	0.1741	0.1813	0.1777
3	0.1845	0.1961	0.1903
4	0.1543	0.18	0.16715
5	0.0913	0.1801	0.1357
6	0.1736	0.1603	0.16695
7	0.071	0.1534	0.1122
8	0.0571	0.1822	0.11965
9	0.0735	0.1637	0.1186
10	0.1487	0.1874	0.16805
11	0.142	0.136	0.139
12	0.1761	0.1498	0.16295
13	0.2226	0.1629	0.19275
14	0.0966	0.196	0.1463
15	0.0899	0.1483	0.1191
16	0.0575	0.1588	0.10815
17	0.0836	0.1617	0.12265
18	0.1538	0.1099	0.13185

Berdasarkan hasil data pada Tabel 3 dilanjutkan analisis dengan karakteristik kualitas *smaller is better*, dipilih karena pada proses injeksi molding diinginkan *shrinkage* yang kecil karena menunjukkan proses tersebut telah berjalan stabil. *shrinkage* merupakan masalah yang banyak dipengaruhi faktor diantaranya *injection speed*, *melting temperature*, *injection pressure*, *holding pressure*, *holding time*, dan *cooling time*. Untuk mengetahui pengaruh level dan faktor terhadap rata-rata dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Plot untuk S/N Ratio dan Rata-Rata Interaksi

Gambar 1 pada plot S/N rasio maupun Mean menunjukkan adanya interaksi pada faktor AB (*Injection Speed* dengan *Melting Temperature*) dan BC (*Melting Temperature* dengan *Injection Pressure*) terlihat dari garis yang saling berpotongan. Hal ini mendukung teori penelitian sebelumnya terdapat interaksi yang mempengaruhi *shrinkage* [14]. Pada Gambar *Main Effect Plot For Means* dan Tabel 4 disajikan *rank* pengaruh level dan faktor terhadap *shrinkage* yang muncul pada produk plastik *tray* yang selanjutnya digunakan untuk mencari *signal noise to ratio*. Delta menunjukkan selisih dalam tiap parameter, *rank* menunjukkan urutan dari selisih tiap parameter. Selanjutnya dapat dilihat pada Gambar *Main Effect Plot for SN ratios* dan Tabel 3 yang menunjukkan delta terbesar pada faktor B dengan *rank* 1, hal ini berarti bahwa faktor B (*Melting Temperature*) memiliki pengaruh paling besar terhadap hasil akhir. Sehingga *Melting Temperature* menjadi faktor paling besar mempengaruhi *shrinkage* dan *Injection Pressure* menjadi faktor paling lemah dalam mempengaruhi *shrinkage*. Kombinasi parameter paling optimum dapat dipilih dengan dengan level yang memiliki *signal to noise ratio* paling besar yaitu kombinasi *Injection Speed* 90 rpm (%), *Melting Temperature* 240°C, *Injection Pressure* 110bar, *Holding Pressure* 80bar, *Holding Time* 5sec, dan *Cooling Time* 10sec. (*smaller the better*)

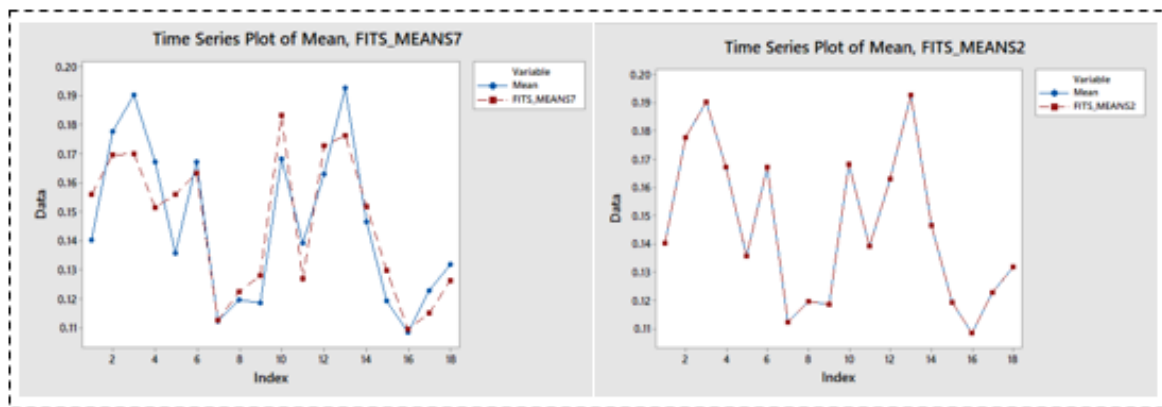
Table 5 Tabel Respon untuk *Signal to Noise Ratios*

Level	A	B	C	D	E	F
1	16.44	15.75	16.48	17.24	16.94	16.24
2	16.74	16.1	16.74	16.29	16.72	16.26
3		17.92	16.55	16.24	16.11	17.26
Delta	0.31	2.17	0.27	0.99	0.82	1.02
Rank	5	1	6	3	4	2

Table 6. Tabel Respon untuk *Mean*

Level	A	B	C	D	E	F
1	0.148	0.163	0.148	0.134	0.139	0.151
2	0.143	0.155	0.140	0.152	0.142	0.152
3		0.119	0.148	0.149	0.155	0.134
Delta	0.004	0.044	0.008	0.018	0.015	0.017
Rank	6	1	5	2	4	3

Untuk melihat apakah interaksi antar faktor AB dan faktor BC benar-benar mempengaruhi dapat juga dilihat dengan membuat plot berdasarkan data variabel respon hasil pengamatan dengan nilai fit yang dapat dilihat pada Gambar 2. Tampak desain sebelum menyertakan interaksi masih terdapat titik nilai fit yang yang seharusnya sama tapi berada dibawah ataupun diatas titik hasil pengamatan. Namun, setelah menggunakan interaksi data menjadi lebih baik berada pada titik yang sama antara hasil pengamatan dengan nilai fit. Sehingga interaksi faktor AB (*Injection Speed* dengan *Melting Temperature*) dan BC (*Melting Temperature* dengan *Injection Pressure*) perlu dipertimbangkan dalam analisa selanjutnya yang didukung juga oleh penelitian sebelumnya [14].



Gambar 2. Perbandingan Plot *Mean* dengan *Fit* sebelum dan setelah terdapat interaksi

Berikut adalah hipotesis pada penelitian ini:

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor terhadap *Shrinkage*

H_1 : Terdapat pengaruh semen terhadap *Shrinkage*

Tabel 7. Tabel Respon untuk ANOVA tanpa interaksi

Sumber	df	Seq SS	Kontribusi	Adj SS	Adj MS	F-value	P-value
A	1	0.419	1.30%	0.419	0.419	0.47	0.518
B	2	16.261	50.39%	16.261	8.131	9.14	0.015
C	2	0.231	0.72%	0.231	0.116	0.13	0.880
D	2	3.751	11.62%	3.751	1.875	2.11	0.202
E	2	2.189	6.78%	2.189	1.095	1.23	0.356
F	2	4.087	12.66%	4.087	2.043	2.30	0.182

Error	6	5.335	16.53%	5.335	0.889
Total	17	32.274	100.00%		

Tabel 8. Nilai R-Square

S	R-Sq	R-Sq (adj)	PRESS	R-sq (pred)
	0.9429	83.47%	53.16%	48.0166
			0.00%	

Dari hasil output anova tanpa interaksi diatas didapat bahwa nilai kontribusi pada faktor B terbesar bernilai 50,39% artinya variabel faktor B dapat berpengaruh terhadap *Shrinkage* sebesar 50,39% dan sisanya dijelaskan dari selain faktor B.

Nilai *R-Squared* adalah sebesar 83,47%, yang mengandung arti bahwa faktor A-F diatas beserta interaksi secara bersama-sama berpengaruh 83,47% terhadap *shrinkage*, sisanya 16,53% dijelaskan oleh faktor lain diluar penelitian.

Tabel 11. Tabel Respon ANOVA dengan interaksi

Sumber	Df	Seq SS	Kontribusi	Adj SS	Adj MS	F-value	P-value
A	1	0.254	0.58%	0.254	0.254	*	*
B	2	24.835	56.65%	24.835	12.4235	*	*
C	2	0.624	1.42%	0.624	0.312	*	*
D	2	3.432	7.83%	3.084	1.542	*	*
E	2	2.268	5.17%	2.474	1.237	*	*
F	2	4.874	11.12%	1.488	0.744	*	*
A*B	2	0.648	1.48%	0.648	0.324	*	*
B*C	4	6.904	15.75%	6.904	1.726	*	*
Error	0	*	*	*	*		
Total	17	43.839	100.00%				

Tabel 9. Tabel Respon ANOVA dengan Interaksi dan *Pooled*

Sumber	df	Seq SS	Kontribusi	Adj SS	Adj MS	F-value	P-value
B	2	24.835	56.65%	24.835	12.4173	41.29	0.007
C	2	0.624	1.42%	0.624	0.312	1.04	0.455
D	2	3.432	7.83%	3.084	1.542	5.13	0.108
E	2	2.268	5.17%	2.475	1.237	4.11	0.138
F	2	4.874	11.12%	1.488	0.744	2.47	0.232
B*C	4	6.904	15.75%	6.904	1.726	5.74	0.091
Error	3	0.902	2.06%	0.902	0.301		
Total	17	43.839	100.00%				

Tabel 10. Nilai R-Square dengan Interaksi

S	R-Sq	R-Sq (adj)	PRESS	R-sq (pred)
---	------	------------	-------	-------------

0.548412	97.94%	88.34%	32.4816	25.91%
----------	--------	--------	---------	--------

Dari hasil output anova dengan interaksi diatas didapat bahwa *p-value* dan *F-value* tidak muncul dikarenakan ada salah satu faktor yang memiliki *contribution* terlalu kecil, sehingga faktor A di pooled atau dihilangkan. Setelah dihilangkan faktor A didapat bahwa nilai kontribusi pada faktor B (suhu leleh) terbesar bernilai 56,65% artinya variabel faktor B dapat berpengaruh terhadap *Shrinkage* sebesar 56,65% dan sisanya dijelaskan dari selain faktor B. Nilai *R-Squared* adalah sebesar 97,94%, yang mengandung arti bahwa faktor B-F diatas beserta interaksi secara bersama-sama berpengaruh 97,94% terhadap *shrinkage*, sisanya 2,06% dijelaskan oleh faktor lain diluar penelitian. Hasil ini berbeda dengan penelitian aslinya karena tidak ada faktor yang dihilangkan, dimana faktor waktu penahanan memiliki kontribusi terbesar [14].

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisa terhadap injeksi molding untuk *tray* plastik campuran 75% polypropylene (PP) dan 25% polietilen densitas rendah (LDPE) menggunakan pendekatan Taguchi, dapat disimpulkan berikut ini:

Parameter optimal tanpa efek interaksi:

- Kondisi optimum kecepatan injeksi (90 %rpm), suhu leleh (240 °C), tekanan injeksi (110 bar), tekanan penahanan (96 bar), waktu penahanan (5 detik), dan waktu pendinginan (10 detik).
- Suhu leleh adalah parameter yang paling signifikan sedangkan faktor yang lain adalah parameter yang tidak signifikan.
- Kontribusi parameter yaitu suhu leleh (50,39%), waktu pendinginan (12,66%), kekuatan tekanan (11,62%), dan waktu penahanan (6,78%).

Parameter optimal dengan efek interaksi

- Kondisi optimum adalah suhu leleh (240 ° C), tekanan injeksi (110 bar), tekanan tahan (80 bar), waktu penahanan (5 detik), dan waktu pendinginan (10 detik).
- Suhu leleh adalah parameter yang paling signifikan sedangkan faktor yang lain adalah parameter yang tidak signifikan.
- Kontribusi parameter adalah suhu leleh (56,65%),interaksi suhu leleh dan tekanan injeksi (15,75%) , waktu pendinginan (11,12%), dan kekuatan tekanan (7,83%).

Saran untuk penelitian pengembangan berikutnya, jika pada proses produksi plastik dengan metode injeksi molding terdapat bahan yang menarik dan faktor baru yang tentunya diperkirakan berpengaruh itu jauh lebih baik, untuk perbandingan dengan faktor lama dan bahan yang lama. Penelitian ini sebaiknya memperhatikan kembali untuk menggunakan pengulangan yang lebih banyak agar mendapatkan hasil yang lebih optimal, selain itu perlu diperhatikan juga faktor *noise* yang mungkin mempengaruhi seperti suhu dan kelembaban ruangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Singh and A. Verma, "A Brief Review on injection moulding manufacturing process," *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 2, pp. 1423–1433, 2017.
- [2] C. Budiyanoro and H. Sosiati, "Optimalisasi Parameter Proses Injeksi Pada Hdpe Recycle

- Material Untuk Memperoleh Minimum Sink Marks Menggunakan Pendekatan Metode Taguchi,” *JMPM (Jurnal Mater. dan Proses Manufaktur)*, vol. 1, no. 2, pp. 56–62, 2017.
- [3] X.-P. Dang, “General frameworks for optimization of plastic injection molding process parameters,” *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 41, pp. 15–27, 2014.
- [4] R. Pareek and J. Bhamniya, “Optimization of injection moulding process using Taguchi and ANOVA,” *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–6, 2013.
- [5] N. C. Fei, N. M. Mehat, and S. Kamaruddin, “Practical applications of Taguchi method for optimization of processing parameters for plastic injection moulding: a retrospective review,” *Int. Sch. Res. Not.*, vol. 2013, 2013.
- [6] Y. Wang, J. Kim, and J. Song, “Optimization of plastic injection molding process parameters for manufacturing a brake booster valve body,” *Mater. Des.*, vol. 56, pp. 313–317, 2014.
- [7] O. A. Mohamed, S. H. Masood, A. Saifullah, and J. L. Bhowmik, “Investigation on warpage and sink mark for injection moulded parts using Taguchi method,” *SPE ANTEC Indianap.*, pp. 1723–1728, 2016.
- [8] M. K. Damayanti, “Desain Parameter Eksperimen Untuk Optimasi Nilai Frangibility Factor Material Komposit Dengan Metode Taguchi dan Neural Network,” *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, 2017.
- [9] P. Sidi and M. T. Wahyudi, “Aplikasi metoda taguchi untuk mengetahui optimasi kebulatan pada proses bubut CNC,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 101–108, 2013.
- [10] A. A. Wulandari, T. Wuryandari, and D. Ispriyanti, “Penerapan Metode Taguchi Untuk Kasus Multirespon Menggunakan Pendekatan Grey Relational Analysis Dan Principal Component Analysis (Studi Kasus Proses Freis Komposit Gfrp),” *J. Gaussian*, vol. 5, no. 4, pp. 791–800, 2016.
- [11] D. Rahmalina, E. Prayogi, A. S. Atmaja, S. Sudiro, A. Suhadi, and I. C. Setiawan, “Analisis Pengaruh Tekanan Injeksi pada Proses Injection Molding terhadap Kekerasan Komposit Polyurethane-15% Carbon Black,” in *Prosiding Seminar Rekayasa Teknologi (SemResTek)*, 2018, pp. 711–715.
- [12] I. O. Fagbolagun and S. A. Oke, “The optimization of packaging system process parameters using Taguchi method,” *Int. J. Ind. Eng. Eng. Manag.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–14, 2020.
- [13] R. Risnawati, “Mengidentifikasi Faktor-Faktor yang mempengaruhi Kualitas Gula dengan Metode Taguchi pada Pabrik Gula.” Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, 2018.
- [14] S. Kamaruddin, Z. A. Khan, and S. H. Foong, “Application of Taguchi method in the optimization of injection moulding parameters for manufacturing products from plastic blend,” *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 6, p. 574, 2010.
- [15] P. R. Maulidia, N. Budiharti, and E. Adriantantri, “Analisis Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Taguchi pada UMKM Rubber Seal RM Products Genuine Parts Sukun, Malang,” *Ind. Inov. Tek. Ind. ITN Malang*, pp. 83–91, 2020.
- [16] R. H. Widyatmoko, “Optimalisasi Parameter Injeksi untuk Minimasi Shrinkage, Sink Marks dan Warpage pada Industri Mold Modern.” UAJY, 2017.