

OPTIMASI PARAMETER MESIN *INJECTION MOLDING* TERHADAP CACAT *SHORT SHOT* MENGGUNAKAN *RESPONSE* *SURFACE METHODOLOGY*

1) Mahasiswa Teknik Mesin,
Universitas Yudharta
Pasuruan, Kab. Pasuruan,
Indonesia

2) Dosen Teknik Mesin,
Universitas Yudharta
Pasuruan, Kab. Pasuruan,
Indonesia

Corresponding email ¹⁾ :
mohammadhikam20@gmail.com

Received: 26-08-2023

Accepted: 29-08-2023

Published: 28-12-2023

©2023 Politala Press.
All Rights Reserved.

M. Hikam Muddin ¹⁾, Mochamad Mas'ud ²⁾

Abstrak. Pada studi kasus di PT XYZ Pasuruan terdapat produksi preform pada bagian packaging menggunakan mesin injection molding dengan merk SIPA XFORM 500 menggunakan material PET (Polyethylene Terephthalate). Pada februari-april 2023, terdapat kasus cacat short shot sebanyak 20.737 pcs produk preform. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yakni RSM (Response surface methodology) dengan dilakukan perhitungan menggunakan software minitab21 berbasis desain eksperimen Box-Behnken. Variabel bebas yang digunakan terdiri dari temperature (280°C, 283°C dan 285°C), holding pressure (65 bar, 67 bar, 70 bar), dan cooling time (1,8 s, 1,9 s, 2 s) sehingga didapatkan 15 runs eksperimen. Dari hasil optimasi didapatkan temperature sebesar 285 °C, holding pressure sebesar 70 bar, dan cooling time sebesar 1,8 s. Dihasilkan variable respon short shot -0,0128 dengan nilai desirability 1,0 menandakan bahwa program semakin mampu menghasilkan produk sesuai keinginan dengan sempurna.

Kata Kunci: Cacat Short Shot, Injection Molding, PET, RSM

Abstract. In the case study at PT XYZ Pasuruan, there is a preform production in the packaging section using an injection molding machine with the brand SIPA XFORM 500 using PET (Polyethylene Terephthalate) material. In February-April 2023, there were cases of short shot defects as many as 20,737 pcs of preform products. The method used in this study is RSM (Response surface methodology) by calculating using minitab21 software based on Box-Behnken experimental design. The independent variables used consisted of temperature (280 °C, 283 °C and 285 °C), holding pressure (65 bar, 67 bar, 70 bar), and cooling time (1.8 s, 1.9 s, 2 s) so that 15 runs of experiments were obtained. From the optimization results, a temperature of 285 °C, a holding pressure of 70 bar, and a cooling time of 1.8 s. The resulting variable short shot response of -0.0128 with a desirability value of 1.0 indicates that the program is increasingly able to produce the desired product perfectly.

Keywords: Short Shot Defect, Injection Molding, PET, RSM

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v10i2.259>

1. Pendahuluan

Plastik ialah material sintetis yang sering dipakai setiap hari karena memiliki kelebihan diantaranya adalah ringan, mudah dibentuk, dan anti karat beberapa produk plastik bisa didaur ulang sehingga dapat digunakan kembali [1]. Hal ini membuat penggunaan plastik meningkat, sedangkan penggunaan benda dari material logam menurun dikarenakan logam mempunyai sifat massa yang lebih berat dan lebih mudah terkena korosi. Dalam kehidupan sehari-hari produk plastik banyak ditemui pada peralatan rumah tangga, pembungkus makanan, benda elektronik, part otomotif dan lain-lain [2]. Plastik memiliki beberapa jenis diantaranya meliputi PE, PET, HDPE, LDPE, PVC, PS, PP, dan PS [3]. Jenis-jenis plastik tersebut bisa dijadikan pada tujuan yang berbeda-beda. Salah satunya yaitu material PET (Polyethylene Terephthalate) umumnya dijadikan tempat minuman dan makanan karena aman bagi kesehatan. Plastik PET memiliki ketahanan yang tinggi, sifat transparan, aman bagi kesehatan, tidak merubah cita rasa, dan tahan terhadap zat kimia.

Ada berbagai teknik dalam pembuatan plastik, yang dipilih berdasarkan karakteristik, tipe plastik, dan dimensi produk final yang diharapkan. Beberapa teknik yang dikenal dalam produksi plastik adalah injection molding, blow molding, compression molding, dan thermoforming [4]. Teknik injection molding menjadi salah satu pilihan utama dalam industri. Pada metode ini, bahan termoplastik yang sudah dilelehkan melalui pemanasan disuntikkan dari sebuah barrel ke dalam cetakan. Setelah itu, bahan tersebut didinginkan menggunakan air hingga menjadi keras [5].

Pada studi kasus di PT. XYZ Pasuruan, terdapat produksi preform pada bagian packaging menggunakan mesin injection molding dengan merk SIPA XFORM 500 kapasitas mold 128 cavity dan menggunakan material PET (Polyethylene Terephthalate). Mesin ini baru beroperasi pada bulan Januari 2023, maka dari itu masih dilakukan penyesuaian parameter yang tepat. Penggunaan mold dengan kapasitas besar dan parameter yang kurang sesuai seringkali menyebabkan cacat produk dan jenis cacat yang paling banyak ditemukan yaitu short shot. Cacat short shot adalah kondisi yang mana cetakan tidak terisi maksimal oleh material plastik yang diinjeksikan. [6]. Cacat short shot ditemukan pada settingan parameter awal yaitu *temperature 280°C, holding pressure 65 bar, dan cooling time 1,9 s*. Pada Februari – April 2023, terdapat kasus cacat short shot sebanyak 20.737 pcs produk preform di PT. XYZ Pasuruan.

Ringkasan dari penelitian sebelumnya tentang cacat short shot injection molding menunjukkan bahwa ada tiga variabel kunci yang berpengaruh dalam mengurangi kecacatan short shot yaitu temperature, waktu pendinginan, dan tekanan injeksi. Dalam penelitian ini secara umum disimpulkan bahwa semakin kecil tekanan dan temperature serta semakin lamanya waktu pendinginan akan menyebabkan munculnya cacat short shot. Parameter yang optimal pada penelitian ini yaitu *temperature 240°C, waktu pendinginan 20 s, dan tekanan injeksi 3,038 MPa* atau jika dikonversi ke satuan bar yaitu 30,38 bar [7].

Studi ini menggunakan response surface methodology (RSM), sebuah pendekatan yang mengintegrasikan konsep-konsep statistika dan matematika untuk mengeksplor hubungan antara beberapa variabel kuantitatif dengan hasil variabelnya. Tujuannya adalah untuk mengoptimalkan, memperbaiki, dan memajukan hasil tersebut dalam sebuah eksperimen [8]. Dari hasil tinjauan dengan studi literatur dan observasi, maka akan dilakukan penerapan metode tersebut untuk menganalisa pengaruh atau tidaknya parameter temperature, holding pressure, dan cooling time dengan cacat short shot sebagai variabel responnya serta untuk menghasilkan optimasi parameter.

2. Tinjauan Pustaka

Injection Molding

Injection molding ialah metode utama dalam pembuatan komponen plastik. Proses ini melibatkan penggunaan mesin cetak injeksi untuk memproduksi potongan-potongan plastik yang kompleks dalam bentuk yang diinginkan. [5]. Cara kerja injection molding ialah saat cairan plastik yang telah dilelehkan tersebut kemudian diinjeksikan dengan cepat ke dalam "mold" atau cetakan dengan tekanan tinggi, mirip dengan cara jarum suntik bekerja.

Response Surface Methodology (RSM)

Response surface methodology (RSM) ialah kumpulan teknik matematika dan statistika yang dimanfaatkan untuk membangun model dan menganalisa bagaimana suatu respon dipengaruhi oleh berbagai variabel [9]. Metode ini memungkinkan peneliti untuk mencari relasi atau fungsi yang memprediksi respon berdasarkan kombinasi berbagai variabel. Tujuannya, seperti yang adalah untuk mengoptimalkan respon. [10]. Dengan kata lain, RSM digunakan untuk menemukan set nilai dari variabel independen yang menghasilkan hasil optimal pada variabel dependen atau respon. Ini penting dalam berbagai bidang, seperti ilmu pangan, pertanian, bioteknologi, biologi, teknik, ilmu kesehatan, dan lainnya. Dalam praktiknya, RSM memanfaatkan analisis regresi pada data eksperimen yang telah dikumpulkan. Salah satu alat visualisasi yang umum digunakan dalam RSM adalah plot 3D dari model permukaan respon [11]. Relasi antara variabel respon y dan variabel bebas x dinyatakan sebagai berikut:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + \varepsilon$$

$$(i = 1, 2, 3, \dots, k) \quad (1)$$

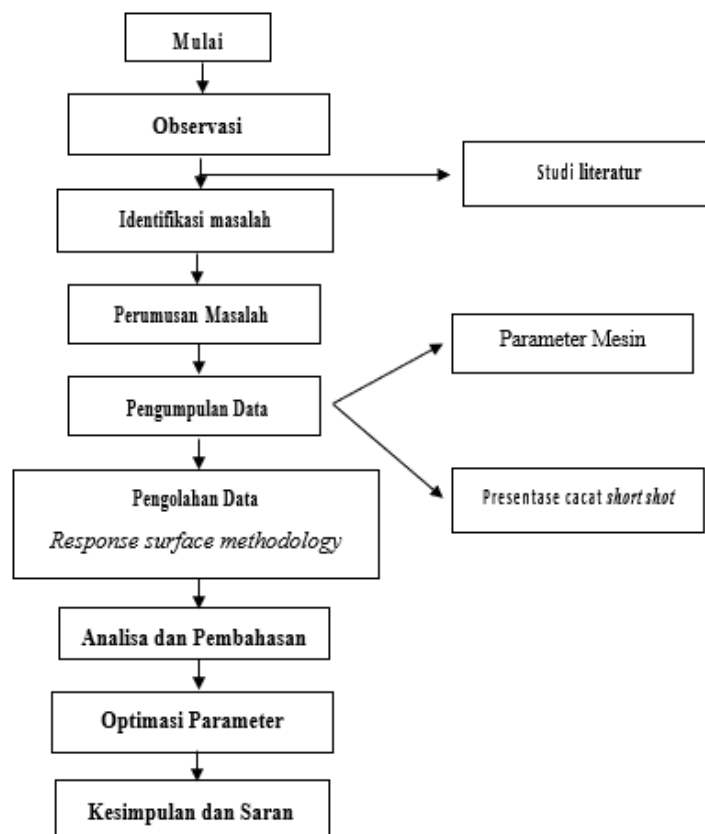
Dengan:

y = Variabel respon

x_1 = Variabel bebas / independent

ε = Galat pada pengamatan

3. Metodologi



Gambar 2. Diagram alur penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

Penentuan variabel penelitian

Variabel yang dipilih pada penelitian ini yakni cacat *short shot* yang merupakan variabel respon dan variabel bebas yaitu *temperature*, *holding pressure*, dan *cooling time*. Berikut adalah variabel-variabel yang ditentukan:

Tabel 1. Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan
Y	Cacat <i>short shot</i>
X_1	<i>Temperature</i>
X_2	<i>Holding pressure</i>
X_3	<i>Cooling time</i>

Desain Eksperimen Box-Behnken

Tahap ini metode yang digunakan ialah metode RSM dengan berbasis Box-Behnken design yang terdiri dari 3 faktor, dan 3 tingkat menggunakan software *minitab21*. Faktor yang dimaksud adalah faktor penyebab terjadinya perubahan suatu percobaan, yaitu *temperature* : (X_1), *holding pressure* : (X_2), dan *cooling time* : (X_3). Tingkat pengujian yang diterapkan pada penelitian ini ada tiga, yakni: tingkat rendah (-1), tingkat tinggi (+1), dan tingkat tengah (0). sehingga didapat 15 runs. Kemudian, variabel bebas diubah menjadi variabel terkode berdasarkan penentuan nilai-nilai berikut:

$$A = \frac{X_1 - 282,5}{2,5} \quad B = \frac{X_2 - 67,5}{2,5} \quad C = \frac{X_3 - 1,9}{1}$$

Setiap variabel X_1 , X_2 , dan X_3 merepresentasikan nilai aktual pada variabel bebas, yakni *temperature*, *holding pressure*, dan *cooling time*. Berikut adalah data eksperimen orde I dan II:

Tabel 2. Desain eksperimen orde I dan orde II

Variabel Terkode			Variabel Bebas			Respon
(A)	(B)	(C)	(X ₁)	(X ₂)	(X ₃)	(Y)
-1	-1	0	280,0	65,0	1,9	0,093
1	-1	0	285,0	65,0	1,9	0,031
-1	1	0	280,0	70,0	1,9	0,039
1	1	0	285,0	70,0	1,9	0,0
-1	0	-1	280,0	67,5	1,8	0,039
1	0	-1	285,0	67,5	1,8	0,0
-1	0	1	280,0	67,5	2,0	0,078
1	0	1	285,0	67,5	2,0	0,031
0	-1	-1	282,5	65,0	1,8	0,039
0	1	-1	282,5	70,0	1,8	0,0
0	-1	1	282,5	65,0	2,0	0,054
0	1	1	282,5	70,0	2,0	0,039
0	0	0	282,5	67,5	1,9	0,007
0	0	0	282,5	67,5	1,9	0,0
0	0	0	282,5	67,5	1,9	0,0

Analisis Eksperimen Orde I

Dari Tabel 2, dapat melihat konversi dari variabel bebas menjadi variabel kode. Langkah berikutnya adalah menyusun persamaan polinomial orde I dengan mengasosiasikan variabel terkode dengan variabel respon Y. Pendekatan model regresi orde I akan diterapkan dengan metode matriks [12]. Tahapannya sebagai berikut:

- Menyusun matriks X dan Y

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & -1 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \mathbf{Y} = \begin{pmatrix} 0,093 \\ 0,031 \\ 0,039 \\ 0,0 \\ 0,039 \\ 0,0 \\ 0,078 \\ 0,031 \\ 0,039 \\ 0,0 \\ 0,054 \\ 0,039 \\ 0,007 \\ 0,0 \\ 0,0 \end{pmatrix}$$

- Menyusun matriks transpose X

$$\mathbf{X}' = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

- Perkalian matriks tranpose X dengan matriks X

$$\mathbf{X}'\mathbf{X} = \begin{pmatrix} 15 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 8 \end{pmatrix}$$

- Menyusun invers dari matriks $X'X$

$$(X'X)^{-1} = \begin{vmatrix} 0,066 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,125 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,125 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,125 \end{vmatrix}$$

- Perkalian matriks tranpose X dengan matriks Y

$$X'Y = \begin{vmatrix} 0,4437 \\ -0,109 \\ -0,139 \\ 0,124 \end{vmatrix}$$

- Perkalian matriks $(X'X)^{-1} X'Y = b$

$$b = \begin{vmatrix} 0,029 \\ -0,036 \\ -0,017 \\ 0,015 \end{vmatrix}$$

Persamaan regresi orde I yaitu :

$$Y = 0,029 - 0,036X_1 - 0,017X_2 + 0,015X_3$$

Uji Signifikansi pada Regresi

Dalam rangka menilai signifikansi dari model regresi orde I, bisa diketahui pada perhitungan sebagai berikut.

$$n = 15 \text{ dan } k = 3$$

$$y'y = 0,0257$$

$$b'X'y = 0,0210$$

$$\frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} = 0,0135$$

$$SS_E = y'y - b'X'y = 0,0257 - 0,0210 = 0,0047$$

$$SS_T = y'y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} = 0,0257 - 0,0135 = 0,0122$$

$$SS_R = b'X'y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} = 0,0210 - 0,0135 = 0,0075$$

$$MSR = \frac{SS_R}{k} = \frac{0,0075}{3} = 0,0025$$

$$MSE = \frac{SS_E}{n-k-1} = \frac{0,0047}{15-3-1} = 0,0004$$

Untuk mengetahui nilai F_0 dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

$$F_0 = \frac{MSR}{MSE} = \frac{0,0025}{0,0004} = 6,25$$

Tabel 3. ANOVA Uji Signifikansi pada Regresi

Sumber keberagaman	Jumlah kuadrat	Derajat kebebasan	Kuadrat Tengah	F_0
Regresi	0,0075	3	0,0025	6,25
Sisaan	0,0004	11	0,0004	
Total	0,0122	14		

$$F_{\alpha,k,n-k-1} = F_{0,05,3,11} = 3.587$$

Dari Tabel 3 dapat diketahui $F_0 = 6,25 > F_{tabel} = 3.587$. Hal ini diartikan H_0 ditolak dan menerima H_1 , berarti variabel X_1, X_2 , dan X_3 memberi pengaruh pada model. Berikut ialah perhitungan koefisien determinasi:

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = \frac{0,0075}{0,0122} = 0,6147 = 61,47\%$$

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-k} (1 - R^2) = \frac{14}{12} (1 - 0,6147) = 0,4495 = 44,95\%$$

Dari perhitungan tersebut diketahui $R^2 = 0,6147$ atau 61,47%. Demikian bisa dikatakan bahwa *temperature, holding pressure, dan cooling time* memberi pengaruh sebesar 61,47% terhadap cacat *short shot*.

Uji Kesesuaian Model

Kesesuaian model diuji menggunakan uji Lack of Fit. Hipotesa yang digunakan pada pengujian model ialah sebagai berikut:

H_0 = model sesuai

H_1 = model tidak sesuai [13]

Untuk mengevaluasi kesesuaian model orde I, bisa diketahui sebagai berikut:

$$N = 15, n_f = 8 \text{ dan } k = 3$$

$$SS_E = y'y - b'X'y = 0,0257 - 0,0210 = 0,0047$$

$$SS_{murni} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 = 0,0105$$

$$SS_{LOF} = SS_E - SS_{murni} = -0,0058$$

$$MS_{LOF} = \frac{SS_{LOF}}{n_f - k - 1} = \frac{-0,0058}{4} = -0,0015$$

$$MS_{murni} = \frac{SS_{murni}}{N - n_f} = \frac{0,0105}{7} = 0,0015$$

Sehingga dihasilkan perhitungan F_0 sebagai berikut:

$$F_0 = \frac{MS_{LOF}}{MS_{murni}} = \frac{-0,0015}{0,0015} = -1,000$$

Tabel 4. ANOVA untuk Uji *Lack Of Fit*

Sumber keberagaman	Jumlah kuadrat	Derajat kebebasan	Kuadrat Tengah	F_0
Sisaan	0,0047	13		
<i>Lack Of Fit</i>	-0,0058	4	-0,0025	-1,666
Galat Murni	0,0105	7	0,0015	

$$F_{\alpha, n_f - k - 1, N - n_f} = F_{0.05, 4, 7} = 4,120$$

Pada pengujian tersebut diperoleh nilai $F_0 = -1,666 < F_{tabel} = 4,120$ Oleh karena itu H_0 Diterima, dapat diartikan model regresi sesuai.

Analisis Eksperimen Orde II

Pengolahan hasil eksperimen orde II dilakukan dengan menggunakan Minitab21. Hasil dari pengolahan tersebut dapat ditemukan pada tabel-tabel berikut:.

Tabel 5. Koefisien penduga untuk cacat *short shot*

Coded Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0,00233	0,00377	0,62	0,563	
Temperature	-0,02338	0,00231	-10,13	0,000	1,00
Holding Pressure	-0,01738	0,00231	-7,53	0,001	1,00
Cooling Time	0,01550	0,00231	6,72	0,001	1,00
Temperature*Temperature	0,02121	0,00340	6,25	0,002	1,01
Holding Pressure*Holding Pressure	0,01721	0,00340	5,07	0,004	1,01
Cooling Time*Cooling Time	0,01346	0,00340	3,96	0,011	1,01
Temperature*Holding Pressure	0,00575	0,00326	1,76	0,138	1,00
Temperature*Cooling Time	-0,00200	0,00326	-0,61	0,567	1,00
Holding Pressure*Cooling Time	0,00600	0,00326	1,84	0,125	1,00

Tabel 6. Analysis of variance

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0,011991	0,001332	31,29	0,001
Linear	3	0,008708	0,002903	68,17	0,000
Temperature	1	0,004371	0,004371	102,65	0,000
Holding Pressure	1	0,002415	0,002415	56,72	0,001
Cooling Time	1	0,001922	0,001922	45,14	0,001
Square	3	0,002991	0,000997	23,41	0,002
Temperature*Temperature	1	0,001661	0,001661	39,00	0,002
Holding Pressure*Holding Pressure	1	0,001093	0,001093	25,68	0,004
Cooling Time*Cooling Time	1	0,000669	0,000669	15,71	0,011
2-Way Interaction	3	0,000292	0,000097	2,29	0,196
Temperature*Holding Pressure	1	0,000132	0,000132	3,11	0,138
Temperature*Cooling Time	1	0,000016	0,000016	0,38	0,567
Holding Pressure*Cooling Time	1	0,000144	0,000144	3,38	0,125
Error	5	0,000213	0,000043		
Lack-of-Fit	3	0,000180	0,000060	3,68	0,221
Pure Error	2	0,000033	0,000016		
Total	14	0,012204			

Uji Kesesuaian Model Regresi (Lack Of Fit)

Berikut ini adalah uji hipotesa yang diterapkan:

$$H_0 = \text{model sesuai}$$

$$H_1 = \text{model tidak sesuai [14]}$$

Pada uji *Lack Of Fit* pada model dihasilkan $p_{value} = 0.221$ atau lebih besar dibandingkan nilai alpha (α) = 0.05 sehingga H_0 diterima dan dapat diartikan model telah sesuai [15].

Uji parameter regresi

Berikut adalah hipotesa yang digunakan:

Apabila $P_{value} < 0,05$ (terdapat pengaruh)

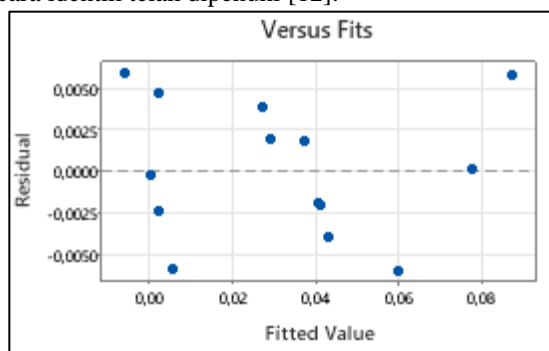
Apabila $P_{value} > 0,05$ (tidak terdapat pengaruh)

Untuk mengetahui signifikansi model orde II, bisa ditemukan dari P_{value} dari *Regression* pada Tabel 5 diantaranya $P_{value} \text{ temperature} = 0.000$, $P_{value} \text{ holding pressure} = 0,001$, $P_{value} \text{ cooling time} = 0,001$. Seluruh P_{value} variabel independen lebih kecil dari derajat signifikansi $\alpha = 5\% / 0,005$. Sehingga dapat diartikan variabel X_1 , X_2 , dan X_3 memberikan pengaruh pada variabel respon (*short shot*). Dari Tabel 3 juga dapat diketahui $F_0 = 6,25 > F_{tabel} = 3.587$. Hal ini berarti H_0 ditolak dan menerima H_1 , berarti variabel X_1 , X_2 , dan X_3 memberi pengaruh pada model. Tabel 6 menampilkan hasil dari parameter persamaan model. Berdasarkan analisa yang telah dilakukan, berikut model yang didapatkan:

$$Y = 0,00233 - 0,02338 X_1 - 0,01738 X_2 - 0,01550 X_3 + 0,02121 X_1^2 + 0,01721 X_2^2 + 0,01346 X_3^2 + 0,00575 X_1 X_2 - 0,002 X_1 X_3 + 0,006 X_2 X_3$$

Uji Keidentikan

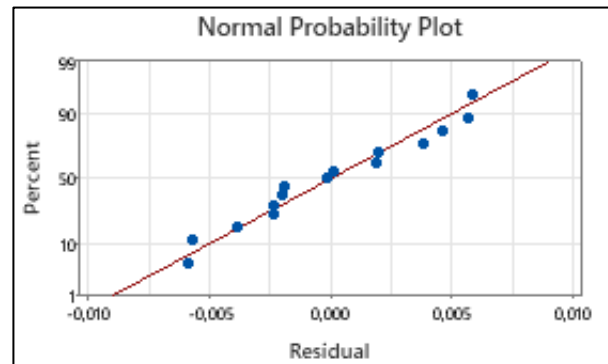
Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui bahwa varian dari residual ialah konstan di seluruh tingkatan dari variabel independen. Gambar 3 menggambarkan plot dari residual terhadap nilai *fitted value*. Residual terdistribusi dengan merata dan tidak menunjukkan pola tertentu. Kondisi ini diartikan bahwa asumsi dari residual yang berdistribusi secara identik telah dipenuhi [12].



Gambar 3. Uji keidentikan

Uji Kenormalan

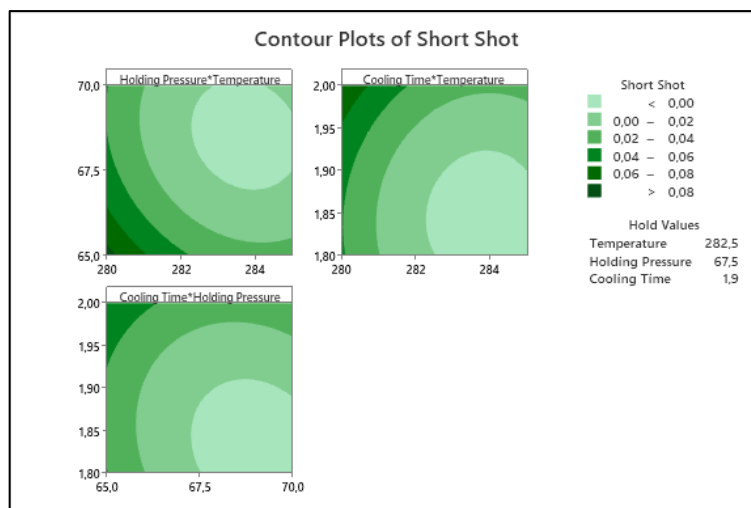
Uji kenormalan digunakan untuk mengetahui penyimpangan model. Dalam plot ini, residu diurutkan dan digambarkan berdasarkan distribusi normal teoretis. Jika residual berdistribusi secara normal, maka titik-titik pada plot akan mengikuti sebuah garis lurus yang telah ditetapkan. Gambar 4 menampilkan titik-titik residual yang berada dekat dengan garis lurus, yang menandakan bahwa asumsi distribusi normal untuk residual telah dipenuhi [12].



Gambar 4. Uji kenormalan

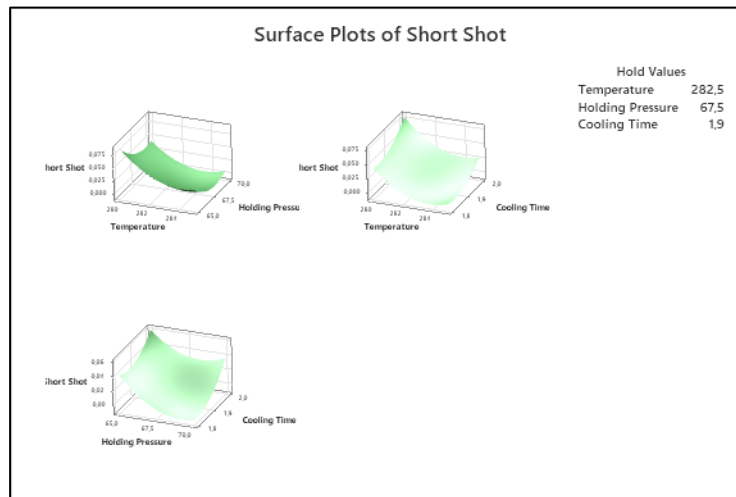
Analisis Permukaan Respon

Metode permukaan respon merupakan pendekatan yang digunakan untuk eksplorasi optimal dari respon yang kompleks. Dalam konteks desain eksperimen atau proses optimasi, RSM sangat berguna karena memberikan pemahaman mendalam tentang bagaimana berbagai faktor dan interaksinya mempengaruhi respon yang dimaksud. [8]. Untuk memahami model respon permukaan, kita dapat membuat grafik *contour plot*. Berikut adalah hasil grafik *contour plot*.



Gambar 5. Contour plot

Contour plot merupakan grafik nilai respon dari dua faktor. *Contour plot* mengilustrasikan area peluang cacat *short shot* pada produk dan menunjukkan bahwa *contour plot* berisi beberapa area dengan warna yang berbeda. Warna yang tersedia mulai dari warna hijau terang, hijau muda, hijau sedang, hijau tua, hingga hijau gelap. Hijau gelap mewakili cacat yang terbesar dan hijau terang tidak mewakili cacat. *Contour plot* yang terdapat pada 3 grafik yang menghubungkan antara *temperature*, *holding pressure*, dan *cooling time* terhadap variabel respon menjelaskan bahwa peluang tidak terjadinya cacat *short shot* terjadi pada area berwarna hijau terang, yaitu *temperature* antara 282,5-285°C, *holding pressure* antara 67,5-70 bar, dan *cooling time* antara 1,8-1,9 s. Namun semakin gelap warna hijau maka semakin besar juga peluang terjadinya cacat *short shot*. Untuk cacat yang sering terjadi berada di area berwarna hijau gelap, *temperature* 280°C, *holding pressure* 65 bar, dan *cooling time* 2,0 s. Hal tersebut bisa diketahui berikut:

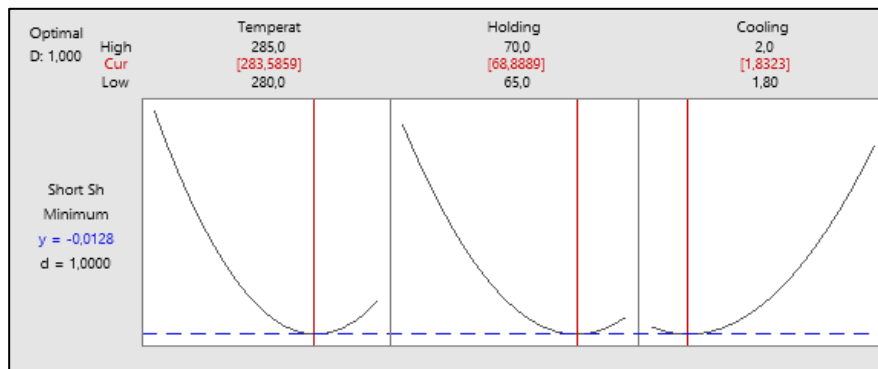


Gambar 6. Surface plot

Diagram permukaan, yang dikenal sebagai surface plot, adalah representasi tiga dimensi (3D) dari diagram kontur. Diagram ini menggunakan koordinat x, y, dan z untuk menggambarkan area spesifik. Di sini, koordinat x dan y mewakili *temperature*, *holding pressure*, dan *cooling time*, sedangkan koordinat z adalah cacat *short shot*. Diagram permukaan di atas menjelaskan bahwa *temperature* 280°C, *holding pressure* 65 bar, dan *cooling time* 2,0 s memiliki cacat terbanyak, sedangkan pada *temperature* 282,5-285°C, *holding pressure* 67,5-70 bar, dan *cooling time* 1,8-1,9 s tidak terjadi cacat *short shot*. Jadi kecenderungan bahwa semakin besar *temperature* dan *holding pressure* serta semakin singkatnya *cooling time* akan mencegah dan meminimalisir terjadinya cacat *short shot*.

Optimasi parameter dan variable respon

Untuk menemukan nilai dari variabel faktor (suhu, tekanan penahanan, waktu pendinginan) yang dapat mengoptimalkan variabel respons (*short shot*), kita menggunakan metode permukaan respons. Melalui pendekatan desirability, kita mencari kombinasi nilai dari variabel faktor (suhu, tekanan penahanan, waktu pendinginan) untuk meminimalkan variabel respons (*short shot*) sehingga produk yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi standar. Kriteria optimal, berdasarkan informasi dari perusahaan, adalah agar cacat *short shot* seminimal mungkin. Berikut merupakan hasil dari pengolahan data dengan fitur response surface optimizer:



Gambar 7. Optimasi parameter dan variabel respon

Gambar 7 menunjukkan nilai optimal parameter diantaranya ialah *temperature* sebesar 283,5 °C, *holding pressure* sebesar 68,8 bar, dan *cooling time* sebesar 1,8 s. Kemudian nilai optimal parameter tersebut dilakukan pembulatan ke nilai terdekat agar dapat dilakukan perbandingan menjadi *temperature* 282,5 °C, *holding pressure* 70 bar, dan *cooling time* 1,8 s sehingga didapatkan nilai respon 0,0 dapat diartikan tidak ditemukan cacat *short shot* yang dapat dilihat pada tabel 2. Sedangkan pada settingan parameter awal yaitu *temperature* 280°C, *holding pressure* 65 bar, dan *cooling time* 1,9 s menghasilkan nilai respon 0,093 / 9,3% cacat *short shot* yang ditemukan. Dengan menetapkan parameter pada nilai optimal dihasilkan nilai desirability sebesar 1,0. Nilai desirability menunjukkan seberapa idealnya suatu respons. Jika $d = 0$, maka respons dianggap tidak diinginkan atau berada di luar batas spesifikasi. Sebaliknya, jika $d = 1$, respons dianggap sebagai yang paling ideal. Dengan demikian, nilai desirability yang mendekati 1,0 menandakan bahwa program semakin mampu menghasilkan produk sesuai keinginan dengan sempurna.

5. Kesimpulan

Dari perhitungan diketahui $R^2 = 0,6147$ atau 61,47%. Jadi bisa dikatakan bahwa *temperature, holding pressure, dan cooling time* memberi pengaruh sebesar 61,47% terhadap cacat *short shot*. Kemudian dihasilkan nilai optimal parameter yaitu *temperature* 282,5 °C, *holding pressure* 70 bar, dan *cooling time* 1,8 s sehingga didapatkan nilai respon 0,0 dapat diartikan tidak ditemukan cacat *short shot*. Sedangkan pada settingan parameter awal yaitu *temperature* 280°C, *holding pressure* 65 bar, dan *cooling time* 1,9 s menghasilkan nilai respon 0,093 / 9,3% cacat *short shot* yang ditemukan. Dengan menetapkan parameter pada nilai optimal dihasilkan nilai desirability sebesar 1,0. Nilai desirability menunjukkan seberapa idealnya suatu respons. Jika $d = 0$, maka respons dianggap tidak diinginkan atau berada di luar batas spesifikasi. Sebaliknya, jika $d = 1$, respons dianggap sebagai yang paling ideal. Dengan demikian, nilai desirability yang mendekati 1,0 menandakan bahwa program semakin mampu menghasilkan produk sesuai keinginan dengan sempurna. Berdasarkan analisa yang telah dilakukan, berikut persamaan model yang didapatkan:

$$Y = 0,00233 - 0,02338 X_1 - 0,01738 X_2 - 0,01550 X_3 + 0,02121 X_1^2 + 0,01721 X_2^2 + 0,01346 X_3^2 + 0,00575 X_1 X_2 - 0,002 X_1 X_3 + 0,006 X_2 X_3$$

Daftar Pustaka

- [1] S. SIHOMBING, "KARYA TULIS ILMIAH PEMANFAATAN SAMPAH PLASTIK JENIS POLYPROPYLENE (PP) MENJADI BAHAN BAKAR ALTERNATIF," 2021.
- [2] H. Widiastuti, S. E. Surbakti, F. Restu, M. Hasan Albana, dan I. Saputra, "IDENTIFIKASI CACAT PRODUK DAN KERUSAKAN MOLD PADA PROSES PLASTIC INJECTION MOLDING," 2019. [Daring]. Tersedia pada: <http://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JATRA>, <https://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JATRA>
- [3] N. Karuniasuti, "Bahaya plastik terhadap kesehatan dan lingkungan," *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, vol. 3, no. 1, 2013.
- [4] M. S. D. Ellianto, M. Ikhwan, dan E. Pramitaningrum, "PENENTUAN SETTING PARAMETER PEMBUATAN PRODUK JERIGEN 5 L PADA PROSES BLOW MOULDING DENGAN MENGGUNAKAN RESPONSE SURFACE METHODOLOGY," 2021.
- [5] G. Raihan, C. Budiyanoro, dan H. Sosiati, "KOMPARASI PARAMETER INJEKSI OPTIMUM PADA LDPE RECYCLED DAN VIRGIN MATERIAL," *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, vol. 1, no. 1, hlm. 21–30, 2017.
- [6] N. Iskandar dan F. R. Vendiza, "Analisis Cacat Short Shot Dalam Proses Injection Molding Pada Komponen Shroud Fan," dalam *Prosiding Seminar Sains Nasional dan Teknologi*, 2019.
- [7] D. Cahyadi dan M. Al Huda, "Analisis Pengendalian Cacat Produk pada Proses Plastic Injection Molding dengan Material Polypropylene," *TEKNOBIZ: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, vol. 1, no. 2, hlm. 79–87, 2011.
- [8] D. C. Montgomery, "Design and analysis of experiments, John Wiley & Sons," Inc., New York, vol. 1997, hlm. 200–201, 2001.
- [9] M. Y. Pratama, A. Syuhri, dan B. A. Fachri, "Analisis Parameter Pemotongan Dan Debit Pendingin CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Box Behnken Design," *ROTOR*, hlm. 14–17, 2017.
- [10] N. Iriawan dan S. P. Astuti, "Mengolah data statistik dengan mudah menggunakan minitab 14," *Yogyakarta: Andi*, 2006.
- [11] N. Fitria, "Optimalisasi Parameter Regresi Response Surface Methodology Dalam Laba Usaha Pedagang Buah dan Aplikasinya Menggunakan Matlab," *Semarang: Universitas Negeri Semarang*, 2015.
- [12] G. K. Pakem, K. B. Ginting, dan M. A. Kleden, "Penerapan Metode Respon Permukaan Dalam Optimalisasi Laba Usaha Pertanian Tanaman Kangkung Darat," *Jurnal Diferensial*, vol. 1, no. 1, hlm. 28–43, 2019.
- [13] G. K. Pakem, K. B. Ginting, dan M. A. Kleden, "Penerapan Metode Respon Permukaan Dalam Optimalisasi Laba Usaha Pertanian Tanaman Kangkung Darat," *Jurnal Diferensial*, vol. 1, no. 1, hlm. 28–43, 2019.
- [14] M. B. Amirullah dan D. Yudistiro, "Pengaruh Parameter Barrel Temperature, Blowing Time dan Blowing Pressure Terhadap Volume Produk Botol," *ELEMEN: JURNAL TEKNIK MESIN*, vol. 6, no. 2, hlm. 77–86, 2019.
- [15] A. L. P. Aritonang, "Analisis Metode Response Surface Pada Produksi Biodiesel Secara Katalitik Dengan Static Mixing Reactor," 2014.