

Penentuan Setting Optimal Mesin Injection Moulding Menggunakan Metode Response Surface

Trifenaus Prabu Hidayat, Andre Sugioko*, Catherine Williana

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta 12930, INDONESIA

Article Info

Article history:

Received
15 Maret 2024

Accepted
10 Mei 2024

Keywords:
*Response Surface,
Injection Moulding,
Optimal.*

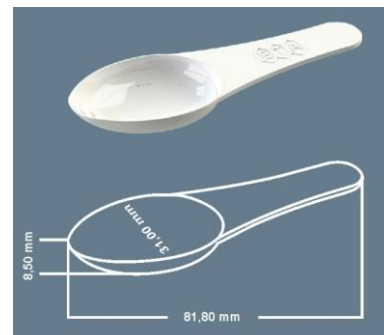
Abstract

PT. Medion Farma Jaya is a company that produces livestock equipment, parts, and plastic packaging. One of the products produced by PT. Medion Farma Jaya is a 5-CC measuring spoon. This mass production process is based on what the company needs to package it with other products, or that can be from customer orders. This research is focused on the 5 CC measuring spoon product (SEN5CC) because, according to the company's 2021 historical data, there is a large percentage of rejected or defective products. Because of these problems, things can be done. The effect on the response to defective products is the setting of the injection Moulding machine by trial and error. Therefore, this research aims to find optimal settings for the machine for injection molding so that it can improve the quality of the product. To find out the optimal settings in this research, the response surface method was used. Based on this method is useful for getting the optimal level of factors or parameters that are significant to the response results. Based on research results, the factors used significantly influence optimal results, namely the melting temperature factor of 260 °C, holding pressure of 30 bar, and injection pressure of 62 bar. Therefore, the predicted response value was -25.1667, which meets the minimum target for the rejected product.

1. INTRODUCTION

PT. Medion Farma Jaya merupakan perusahaan manufaktur alat peternakan dan kemasan plastik. Beberapa produk plastiknya adalah alat bantu untuk menakar sesuatu dengan bentuk sendok. Untuk memproduksi produk-produk berbahan plastik pada PT. Medion Farma Jaya menggunakan mesin, seperti mesin *injection moulding*, mesin *blow moulding*, dan mesin *injection blow moulding*.

Penelitian bertujuan untuk menyelesaikan masalah di mesin *injection moulding*. Pada proses produksi sendok takaran 5 CC (Gambar 1) memiliki persentase tingkat kecacatan yang besar berbanding jumlah produksi sendok takaran 5 CC. Besarnya tingkat kecacatan pada produk sendok takaran 5 CC (SEN5CC), dikarenakan jenis kecacatan yang banyak, seperti fisik yang tidak sesuai desain, produk berlubang, dan ketebalan produk tidak sesuai. Kecacatan sering terjadi pada pengaturan atau *setting* mesin *injection moulding* yang dilakukan oleh operator dikarenakan perusahaan belum memiliki pengaturan mesin atau .



Gambar 1.
Sendok Takaran 5 CC (SEN5CC)

Parameter yang mempengaruhi kecacatan produk sendok takar 5CC untuk penelitian adalah *melting temperature*, *inject pressure*, dan *holding pressure*. Untuk mendapatkan parameter *setting* optimal, penelitian ini akan menggunakan Metode *Response Surface* (Muharni *et al.*, 2022; Erwin, 2013).

2. STUDI LITERATUR

2.1 Mesin Injection Moulding

Menurut Lahoti, Nadar, dan Kulkarni (2014), cetakan injeksi (*injection moulding*) merupakan

*Corresponding author. Andre Sugioko
Email address: andresugioko@atmajaya.ac.id

teknik pembentukan polimer yang banyak dipakai. Proses *injection moulding* mampu mengubah bahan plastik seperti termoplastik, serta bahan bukan plastik seperti bubuk magnesium, bubuk logam. Bahan-bahan tersebut dapat diubah menjadi macam-macam benda yang berbeda baik ukuran, kerumitan, dan aplikasi (Budiyantoro & Sosiati 2017). Mesin *injection moulding* secara umum memiliki komponen-komponen seperti, *feed hopper, injection moulding ram, barrel, injection screw, injection cylinder, injection mould, injection platens, clamping cylinder, dan tie bar* (Firmansyah et al.,2023).

2.2 Parameter Mesin Injection Moulding

Parameter mesin *injection moulding*, merupakan faktor penting dalam proses produksi cetakan plastik, sehingga parameter yang tidak optimal akan menyebabkan kualitas produk yang kurang baik. Menurut beberapa penelitian, parameter yang mempengaruhi proses produksi plastik pada mesin *injection molding* adalah *melting temperature* (Muddin & Mas'ud, 2023), *injection pressure* (Muharni et al.,2022) (Perdana et al.,2020), *holding pressure* (Muddin & Mas'ud, 2023), *injection time* (Sreedharan & Ak, 2018), *holding time* (Rajendra et al.,2019) (Perdana et al.,2020), *mold closing time* (Rajendra et al.,2019), *injection speed* (Perdana et al.,2020).

2.3 Kecatatan Produk Mesin Injection Moulding

Menurut Anggono (2015), contoh-contoh kecacatan produk yang sering terjadi dalam proses *injection moulding*, seperti *short shot* (diakibatkan tekanan mesin tidak sesuai), *warpage* (diakibatkan karena tekanan dan lama pendinginan), *flow mark* (diakibatkan lama pendinginan dan ketebalan produk), *weld line* (keadaan ketika temperatur cetakan, dan tekanan injeksi), *bubbles* (terjadi karena tekanan dan *holding time*), *jetting* (keadaan terjadi karena kecepatan injeksi dan pendinginan terlalu cepat), *black spot* (terjadi karena bahan material tidak murni) (Wibawansyah, 2024), *flash* (bentuk cacat cermin yang terjadi karena kecepatan injeksi tinggi) (Anggono, 2015), dan *shrinkage* (diakibatkan oleh penyusutan material dari *liquid* ke *solid*).

2.4 Metode Response Surface

Response Surface Methodology (RSM) ditemukan oleh Box dan Wilson pada tahun 1951, dimana metode ini sering digunakan pada area industri. Metode *Response Surface* menyatukan matematika dan statistik untuk membuat relasi dan menganalisis respon Y yang dipengaruhi oleh variabel-variabel independen (bebas) atau faktor X. Berikut ini adalah fungsi relasi antara faktor Y terhadap faktor X (Muddin & Mas'ud, 2023) :

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + \epsilon \dots \dots \dots (1)$$

y = variabel respon

x_i = variabel bebas/faktor ($i = 1,2,3,\dots,k$)

ϵ = error

Metode *Response Surface* digunakan untuk mencari hubungan antara variabel output (faktor Y) dan variabel input (faktor X) (Muddin & Mas'ud, 2023). Dikarenakan banyak variabel input yang mempengaruhi variabel ouput, maka pada tahap awal metode *Response Surface*, akan mencari dahulu titik estimasi / optimal sementara, lalu mencari titik optimal berikutnya, sebatas limit parameter variabel input. Jika relasi antara variabel ouput dengan variabel input, adalah linear maka dapat menggunakan persamaan polinomial orde 1, dimana fungsi pada model orde 1, seperti berikut:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k + \epsilon \dots \dots \dots (2)$$

Jika relasi antara variabel ouput dengan variabel input, adalah persamaan kuadrat maka diterapkan persamaan polinomial orde kedua atau sering dikenal sebagai model orde 2, seperti berikut:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \dots \dots (3)$$

Keterangan:

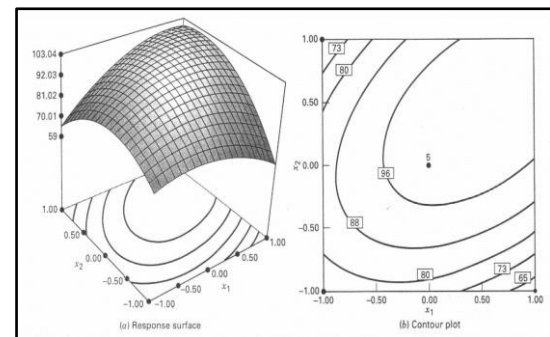
\hat{y} = hasil (produk *reject*)

β_0 = konstanta

β_i = koefisien regresi untuk faktor i dimana $i = A, B, \text{ dan } C$

x_i = level faktor i dimana $i = A, B, \text{ dan } C$

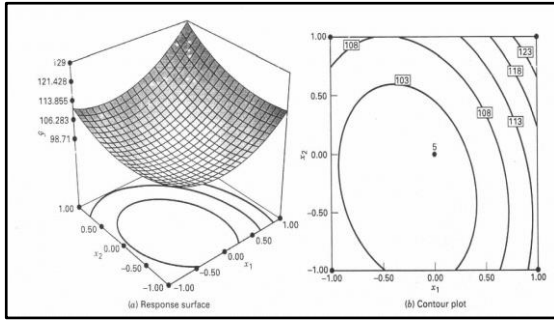
Ketika peneliti telah sampai pada titik ideal, model orde kedua dapat dipakai untuk mencari titik optimal berikutnya, dimana terdapat 3 jenis titik yang dicari dalam Metode *Response Surface*, yaitu *titik maximum response, titik minimum response, dan titik saddle* (Montgomery, 2005).



Gambar 2.

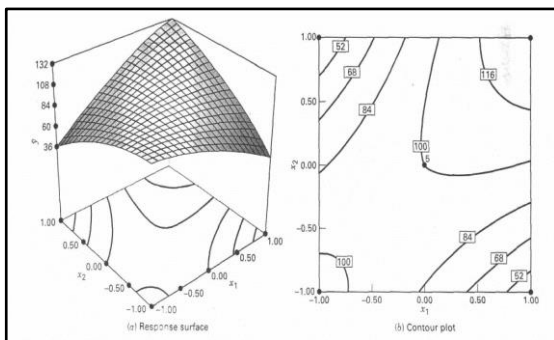
Titik Maksimum *Response Surface* dan *Contour Plot*

Sumber : Montgomery, 2005



Gambar 3.
Titik Minimum *Response Surface* dan *Contour Plot*

Sumber : Montgomery, 2005



Gambar 4.
Titik Saddle *Response Surface* dan *Contour Plot*

Sumber : Montgomery, 2005

Ada beberapa desain standar yang sering digunakan dalam proses *fitting* model orde 2, yaitu *Central Composite Design* (CCD), *Box – Behnken Design*, dan *Face – Centered Cube*, penelitian ini akan menggunakan *Box – Behnken Design*.

3. METODOLOGI

Penelitian dimulai dengan pengumpulan data historis kecatatan produk sendok takaran 5CC, dan data parameter mesin *injection moulding* yang digunakan dalam proses produksi. Data yang telah didapat dilanjutkan ke tahap pengolahan data. Data hasil persentase kecacatan produk atau protuk yang di-reject saat pemeriksaan akan dijadikan variabel respon, sedangkan variabel bebas menggunakan tiga variabel yang dipakai perusahaan (data parameter) yaitu *melting temperature* (Muddin & Mas'ud, 2023), *holding pressure* (Muddin & Mas'ud, 2023) dan *injection pressure* (Muharni et al.,2022).

Setelah didapatkan variabel respon dan variabel bebas, penelitian dilanjutkan dengan penentuan level eksperimen metode respon surface, Level terbagi atas level rendah diberi kode -1, level menengah diberi kode 0, dan level tinggi dengan kode +1. Level variabel bebas telah disesuaikan dengan standar perusahaan. Setiap eksperimen akan

menghasilkan sebanyak 100 (seratus) produk sehingga replikasi yang digunakan sebanyak satu kali karena keterbatasan biaya dan waktu perusahaan, jumlah eksperimen yang dilakukan sebanyak 27 eksperimen.

Dalam pengambilan data hasil eksperimen, penelitian ini menggunakan menggunakan *Box – Behnken Design* untuk mempersingkat waktu eksperimen dengan jumlah eksperimen yang dilakukan tidak terlalu banyak atau sedikit (Mas'ud 2017; Muddin & Mas'ud, 2023; Perdana et al.,2020). Pada tahap awal pengolahan pengacakan urutan percobaan dalam *Box – Behnken Design* ini menggunakan bantuan software MINITAB 15, dimana didapatkan dari 27 eksperimen menjadi 15 eksperimen dengan urutan pelaksanaan telah diacak.

Hasil dari 15 eksperimen, dilakukan pengujian ANOVA, serta *Estimated Effects and Coefficients* untuk melihat pengaruh efek utama (faktor utama), pengaruh interaksi antar variabel, dan kelengkungan (curvature) memiliki dampak terhadap hasil variabel respon (cacat produk). Asumsi hipotesis pengujian untuk *P-value* adalah

H_0 = Efek tidak memiliki pengaruh signifikan.

H_1 = Efek memiliki pengaruh yang signifikan.

Dimana:

Jika *P-value* $\leq \alpha$ (0,05), maka H_0 ditolak.

Jika *P-value* $> \alpha$ (0,05), maka H_1 ditolak

Hasil pengujian ANOVA akan mendapatkan model regresi, yang akan divalidasi (*Fitting model*) dengan membandingkan dengan hasil eksperimen (selisih/residual). Apabila model sudah valid, dilakukan grafik *contour plot* dan *surface plot*. *Contour plot* dan *surface plot* dapat memberikan perkiraan terkait level faktor yang memberikan hasil respon terbaik. Karena *contour plot* dan *surface plot* hanya dapat menampilkan hasil dari dua faktor, maka dilakukan secara berulang untuk melihat hasil faktor lainnya. Perkiraan setting level yang telah didapatkan dari *Contour plot* dan *surface plot* dilanjutkan ke pengoptimal respons untuk menemukan nilai level dari setiap faktor yang menghasilkan target respons optimum menggunakan *software* MINITAB 15.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada data kecacatan produk sendok takaran 5 CC didapatkan dari data historis perusahaan. Berikut di bawah Tabel 1 data kecacatan dan Tabel 2 parameter mesin *injection moulding* yang digunakan ketika proses produksi.

Tabel 1.
Data Historis Produksi dan kecacatan SEN5CC

No.	Produk	No. Batch	Melting Temp.(°C)	Holding Pressure (Bar)	Injection Pressure (Bar)	Total Produk (Unit)	Produk Reject	Produk Accept
1	SEN5CC	PE2FIR03211	235	35	45	101330	37,83%	62,17%
2	SEN5CC	PE2FIR03372	235	45	48	758468	0,85%	99,15%
3	SEN5CC	PE2FIR03883	235	50	58	242080	4,37%	95,63%
4	SEN5CC	PE2FIR04350	250	37	62	616249	2,47%	97,53%
5	SEN5CC	PE2FIR04243	260	35	53	912906	1,32%	98,68%
6	SEN5CC	PE2TR000510	250	48	60	241508	6,01%	93,99%
7	SEN5CC	PE2FIR04475	250	48	60	474885	1,98%	98,02%
8	SEN5CC	PE2FIR03815	245	50	58	429564	6,77%	93,23%
9	SEN5CC	PE2FIR03956	245	30	60	389556	3,74%	96,26%
10	SEN5CC	PE2TR000501	245	45	55	102516	58,06%	41,94%
11	SEN5CC	PE2FIR04349	245	45	55	473346	2,55%	97,45%
12	SEN5CC	PE2FIR04474	250	48	60	1594545	1,51%	98,49%

Sumber : Perusahaan PT. Medion Farma Jaya

Tabel 2.
Level Parameter

Faktor	Kode		
	Level Rendah	Level Tengah	Level Tinggi
	-1	0	+1
Melting Temperature	235°C	247,5°C	260°C
Holding Pressure	30 Bar	40 Bar	50 Bar
Injection Pressure	45 Bar	53,5 Bar	62 Bar

Sumber : Perusahaan PT. Medion Farma Jaya

Metode *Box – Behnken Design* dipakai untuk mempersingkat waktu eksperimen dengan jumlah eksperimen yang dilakukan tidak terlalu banyak atau sedikit (Mas'ud 2017; Muddin & Mas'ud, 2023; Perdana et al.,2020). Pada tahap awal pengolahan pengacakan urutan percobaan dalam *Box – Behnken Design* ini menggunakan bantuan software MINITAB 15. Gambar 5 adalah hasil dari *Box – Behnken Design*

Box-Behnken Design			
Factors:	3	Replicates:	1
Base runs:	15	Total runs:	15
Base blocks:	1	Total blocks:	1
Center points:	3		

Gambar 5.
Hasil MINITAB 15 *Box – Behnken Design*

Berdasarkan gambar 5, diterjemahkan menjadi. Percobaan dilakukan 15 kali, urutan eksperimen diacak, dimana setiap percobaan membuat 100 produk. Sehingga didapatkan tabel 3, yang akan digunakan sebagai acuan eksperimen, tabel 4 merupakan hasil eksperimen untuk menemukan persentase produk reject:

Tabel 3.
Hasil Pengacakan Urutan percobaan

Std Order	Run Order	Pt Type	Blocks	Melting Temperature	Holding Pressure	Injection Pressure
1	1	2	1	235	30	53,5
2	2	2	1	260	30	53,5
3	3	2	1	235	50	53,5
4	4	2	1	260	50	53,5
5	5	2	1	235	40	45
6	6	2	1	260	40	45
7	7	2	1	235	40	62
8	8	2	1	260	40	62
9	9	2	1	247,5	30	45
10	10	2	1	247,5	50	45
11	11	2	1	247,5	30	62
12	12	2	1	247,5	50	62
13	13	0	1	247,5	40	53,5
14	14	0	1	247,5	40	53,5
15	15	0	1	247,5	40	53,5

Tabel 4.
Hasil Eksperimen Orde 1

Std Order	Run Order	PT Type	Blocks	Melting Temp.	Holding Pressure	Injection Pressure	Total Produk	Produk Reject
1	1	2	1	235	30	53,5	100	37%
2	2	2	1	260	30	53,5	100	3%
3	3	2	1	235	50	53,5	100	13%
4	4	2	1	260	50	53,5	100	2%
5	5	2	1	235	40	45	100	42%
6	6	2	1	260	40	45	100	9%
7	7	2	1	235	40	62	100	8%
8	8	2	1	260	40	62	100	1%
9	9	2	1	247,5	30	45	100	33%
10	10	2	1	247,5	50	45	100	16%
11	11	2	1	247,5	30	62	100	4%
12	12	2	1	247,5	50	62	100	2%
13	13	0	1	247,5	40	53,5	100	55%
14	14	0	1	247,5	40	53,5	100	57%
15	15	0	1	247,5	40	53,5	100	54%

Sumber : Hasil Eksperimen

Setelah didapatkan hasil Orde 1, selanjutnya dilakukan perhitungan ANOVA dengan menggunakan software MINITAB 15 dan *Estimated Effects and Coefficients* untuk melihat apakah faktor utama, interaksi, dan kelengkungan (*curvature*) atau fungsi kuadrat memiliki pengaruh terhadap hasil respons (hasil kecacatan produk). Asumsi hipotesis pengujian untuk *P-value* adalah sebagai berikut:

- H₀ = Efek tidak memiliki pengaruh signifikan.
- H₁ = Efek memiliki pengaruh yang signifikan..

Response Surface Regression: Produk Rejec versus Melting Temp; Holding Pres; ..

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Produk Rejec

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	55,333	0,9098	60,818	0,000
Melting Temperature	-10,625	0,5572	-19,070	0,000
Holding Pressure	-5,500	0,5572	-9,872	0,000
Injection Pressure	-10,625	0,5572	-19,070	0,000
Melting Temperature*	-20,167	0,8201	-24,590	0,000
Holding Pressure*Holding Pressure	-21,417	0,8201	-26,115	0,000
Injection Pressure*	-20,167	0,8201	-24,590	0,000
Injection Pressure				
Melting Temperature*Holding Pressure	5,750	0,7879	7,298	0,001
Melting Temperature*	6,500	0,7879	8,249	0,000
Injection Pressure				
Holding Pressure*Injection Pressure	3,750	0,7879	4,759	0,005

S = 1,57586 PRESS = 134,5
R-Sq = 99,81% R-Sq(pred) = 97,93% R-Sq(adj) = 99,46%

Analysis of Variance for Produk Rejec

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	6477,18	6477,18	719,69	289,81	0,000
Linear	3	2048,25	2048,25	682,75	274,93	0,000
Square	3	4071,43	4071,43	1357,14	546,50	0,000
Interaction	3	357,50	357,50	119,17	47,99	0,000
Residual Error	5	12,42	12,42	2,48		
Lack-of-Fit	3	7,75	7,75	2,58	1,11	0,507
Pure Error	2	4,67	4,67	2,33		
Total	14	6489,60				

Gambar 6. Hasil *Estimated Effects and Coefficients* dan Hasil ANOVA

Gambar 6, adalah hasil pengujian ANOVA serta *Estimated Effects and Coefficients*, didapatkan seluruh faktor utama, interaksi antar faktor memiliki pengaruh signifikan terhadap kecacatan produk. Berikut di bawah ini adalah yang memiliki pengaruh signifikan terhadap respon Y (hasil produk reject):

1. Melting Temperature (A)
2. Holding Pressure (B)
3. Injection Pressure (C)
4. Interaksi antara faktor Melting Temperature dan Holding Pressure (A x B).
5. Interaksi antara faktor Melting Temperature dan Injection Pressure (A x C).
6. Interaksi antara faktor Holding Pressure dan Injection Pressure (B x C).

Sebagai hasil dari perhitungan ANOVA menunjukkan tidak ada kelengkungan (*curvature*) atau fungsi kuadrat, model orde 1 akan dipakai untuk percobaan ini. Sehingga persamaan model regresi orde pertama yang dipakai dalam penelitian ini adalah:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_A x_A + \hat{\beta}_B x_B + \hat{\beta}_C x_C + \hat{\beta}_{AB} x_A x_B + \hat{\beta}_{AC} x_A x_C + \hat{\beta}_{BC} x_B x_C + \epsilon \dots\dots\dots (4)$$

Estimated Regression Coefficients for Produk Rejec using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-7333,28
Melting Temperature	57,9251
Holding Pressure	2,83804
Injection Pressure	11,7103
Melting Temperature*	-0,129067
Melting Temperature	
Holding Pressure*Holding Pressure	-0,214167
Injection Pressure*	-0,279123
Injection Pressure	
Melting Temperature*Holding Pressure	0,0460000
Melting Temperature*	0,0611765
Injection Pressure	
Holding Pressure*Injection Pressure	0,0441176

Gambar 7. Hasil Perhitungan Model Regresi Orde 1

Berdasarkan hasil perhitungan model regresi orde 1 dengan menggunakan software MINITAB 15, didapatkan nilai konstanta, dan nilai koefisien. Maka, persamaan regresi orde 1 dapat direvisi sesuai faktor eksperimen seperti berikut :

$$\hat{y} = -7333,28 + 57,925x_A + 2,838x_B + 11,71x_C + 0,046x_Ax_B + 0,061x_Ax_C + 0,044x_Bx_C + \epsilon \dots\dots (5)$$

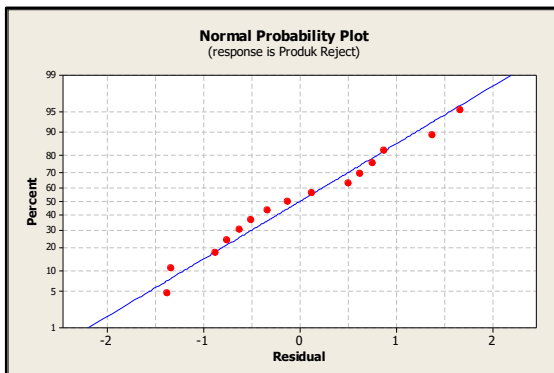
- Keterangan:
- A = faktor *melting temperature*
 - B = faktor *holding pressure*
 - C = faktor *injection pressure*
 - A x B = interaksi antar *melting temperature* dan *holding pressure*
 - A x C = interaksi antar *melting temperature* dan *injection pressure*
 - B x C = interaksi antar *holding pressure* dan *injection pressure*

Setelah didapatkan model *regresi orde 1*, dilanjutkan ke tahap *fitting* model, dengan mencari nilai residual (*fitted value response*) Tabel 5. Nilai residual akan digunakan untuk pengujian distribusi normal, grafik *Plot of Residuals Versus the Order of the Data* untuk menunjukkan apakah data residual dipengaruhi oleh waktu dan urutan pengumpulan data, dan *Plot of residuals versus fitted value* untuk menguji apakah data residual memiliki variasi ekstrim atau stabil.

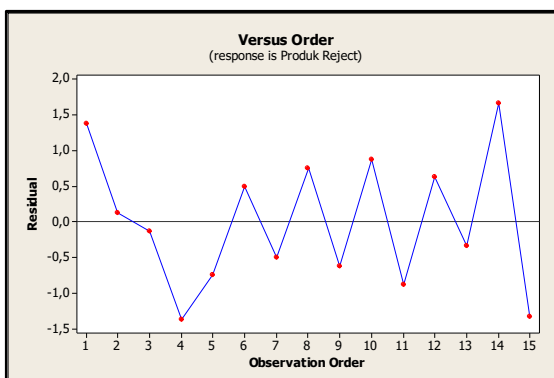
Hasil pengujian distribusi normal (gambar 8) diindikasikan data residual berdistribusi normal, karena titik-titik residual berada pada sekitar garis lurus. Sedangkan Gambar 9, menunjukkan bahwa nilai residual tidak terpengaruh oleh waktu maupun urutan pengumpulan data.

Tabel 5.
Hasil Nilai Residual Model Regresi Orde 1

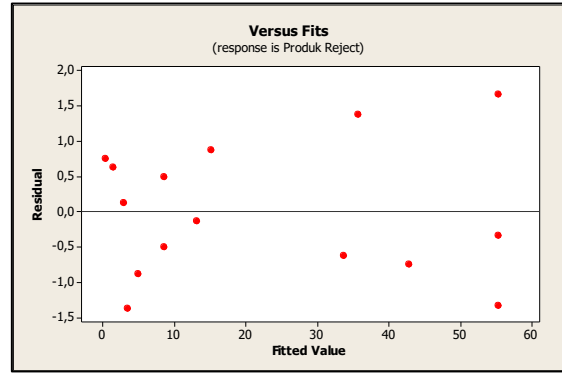
Std Order	Run Or der	Melting Temp.	Holding Pressure	Injection Pressure	Produk Reject	Fitted Value	Resid ual
1	1	235	30	53,5	37	35,625	1,375
2	2	260	30	53,5	3	2,875	0,125
3	3	235	50	53,5	13	13,125	-0,125
4	4	260	50	53,5	2	3,375	-1,375
5	5	235	40	45	42	42,75	-0,75
6	6	260	40	45	9	8,5	0,5
7	7	235	40	62	8	8,5	-0,5
8	8	260	40	62	1	0,25	0,75
9	9	247,5	30	45	33	33,625	-0,625
10	10	247,5	50	45	16	15,125	0,875
11	11	247,5	30	62	4	4,875	-0,875
12	12	247,5	50	62	2	1,375	0,625
13	13	247,5	40	53,5	55	55,3333	-0,3333
14	14	247,5	40	53,5	57	55,3333	1,66667
15	15	247,5	40	53,5	54	55,3333	-1,3333



Gambar 8.
Hasil Normal Probability Plot



Gambar 9.
Plot of Residuals Versus the Order of the Data

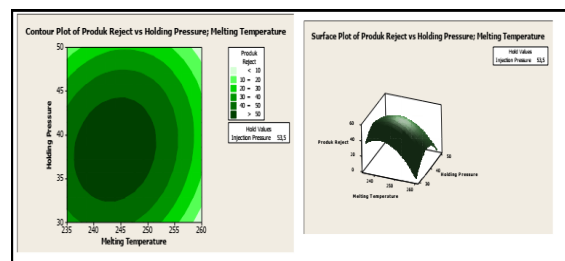


Gambar 10.
Hasil Plot Of Residuals Versus Fitted Value

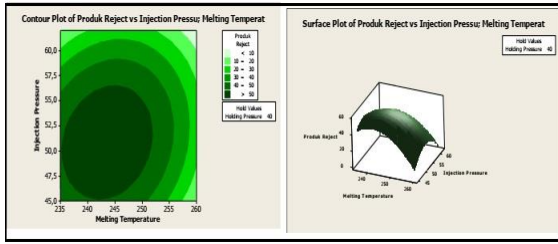
Hasil Gambar 10 , nilai residual tidak mengalami variasi yang ekstrim. Dibuktikan dari sebaran titik residual di sekitar nol secara acak, dan tidak ada variansi residual meningkat atau menurun ketika nilai prediksi respons naik.

Berdasarkan pengujian model yang telah dilaksanakan, didapatkan model fungsi orde 1 telah valid, langkah berikutnya adalah mencari *level* faktor yang memberikan hasil respon terbaik. Dengan menggunakan *contour plot* dan *surface plot*. Namun *contour plot* dan *surface plot* memiliki keterbatasan hanya dapat menampilkan hasil dari dua faktor. Maka, proses *contour plot* dan *surface plot* dilakukan sebanyak tiga kali, dengan kombinasi;

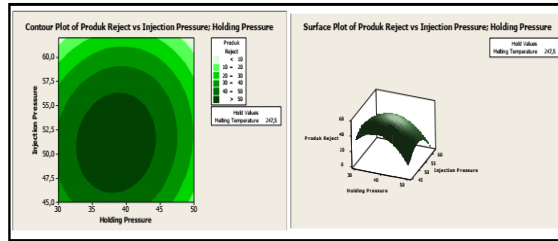
- 1) faktor antara faktor *melting temperature* dan *holding pressure* (A x B) (gambar 11)
- 2) faktor *melting temperature* dan *injection pressure* (A x C) (gambar 12)
- 3) faktor *holding pressure* dan *injection pressure* (B x C) (gambar 13).



Gambar 11.
Contour Plot dan *Surface Plot* Melting Temperature dan Holding Pressure

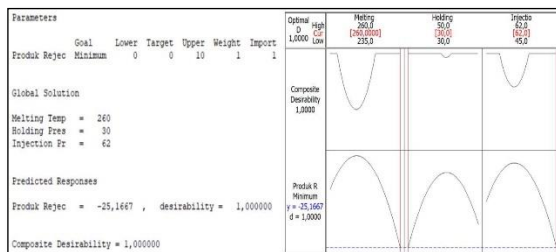


Gambar 12.
Contour Plot dan Surface Plot Melting Temperature dan Injection Pressure



Gambar 13.
Contour Plot dan Surface Plot Holding Pressure dan Injection Pressure

Hasil dari ketiga *contour plot* terlihat ada area hijau muda, dimana pada area tersebut nilai *level faktor* mampu memberikan hasil produk cacat kurang dari 10. Sedangkan hasil *surface plot*, *level faktor yang* berada di bagian paling bawah permukaan mampu memberikan hasil produk cacat kecil. Namun, nilai *level faktor optimum* sulit diketahui dari hasil *contour plot*. Sehingga, peneliti akan melanjutkan hasil *contour plot* dan *surface plot* dengan *response optimizer*, untuk menemukan nilai *level* dari setiap faktor yang menghasilkan target respons yang diinginkan. Gambar 14 adalah hasil dari penggunaan software MINITAB 15 untuk menghitung *response optimizer*. Dan rangkuman hasil dapat dilihat pada tabel 6.



Gambar 14.
Hasil Perhitungan Setting Optimal

Tabel 6.
Setting Optimal Mesin Injection Moulding

Kode	Faktor	Level
A	Melting Temperature	260°C
B	Holding Pressure	30 Bar
C	Injection Pressure	62 Bar

Hasil usulan penentuan setting optimal untuk mesin *injection moulding* pada proses produksi sendok takaran 5 CC adalah *melting temperature* pada level 260°C, *holding pressure level* 30 Bar, dan *injection pressure level* 62 Bar dengan hasil prediksi respon produk reject sebesar -25,1667 yang memenuhi target minimum nilai 0.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan *global solution* dari software MINITAB 15 didapatkan penentuan *setting* optimal untuk setiap faktor atau parameter pada mesin *injection moulding* yang menghasilkan produk *reject* yang paling optimal adalah *melting temperature* pada level 260°C, *holding pressure level* 30 Bar, dan *injection pressure level* 62 Bar. Dengan prediksi hasil produk *reject* sebesar -25,1667, dimana cukup untuk meminimalkan jumlah produk cacat.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. A. D. Anggono, “Prediksi Shrinkage Untuk Menghindari Cacat Produk Pada Plastic Injection,” *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, 2015, doi: 10.23917/mesin.v6i2.2895
2. Budiyanoro, C., & Sosiati, H. (2017). Komparasi Parameter Injeksi Optimum Pada Hdpe Recycled Dan Virgin Material. *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, 1(1): 11-20
3. Erwin, E. (2013). Analisa Pengaruh Parameter Tekanan dan Waktu Penekanan Terhadap Sifat Mekanik dan Cacat Penyusutan dari Produk Injection Molding Berbahan Polyethylene (PE). *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 6(1).
4. Firmansyah, F., Umardani, Y., & Suprihanto, A. (2023). Pembuatan Injection Unit Mesin Injection Molding Untuk Membuat Bantalan Ketiak Tongkat Kruk Dari Material Polypropylene. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(3), 386-395. Retrieved January 9, 2024, from <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/40623>
5. Lahoti, S. N., Nadar, M. D., & Kulkarni, S. S. (2014). Optimization of Critical Processing Parameters for Plastic Injection Molding for Enhance Productivity and Reduced Time for Development. *Int. J. Adv. Engg. Res. Studies*,3(2): 66-71.
6. Mas' ud, M. (2017). Optimasi Proses Mesin Stretch Blow Moulding Pada Botol 600 MI Dengan Metode Rsm (Response Surface Methodology) Studi Kasus Di Pt. Uniplastindo Interbuana. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 18(1).

7. Muddin, M. H., & Mas'ud, M. (2023). Optimization Of Injection Molding Machine Parameters Against Short Shot Defects Using Response Surface Methodology. *Elemen : Jurnal Teknik Mesin*, 10(2): 71–80. <https://doi.org/10.34128/jt.v10i2.259>
8. Muharni, Y., Febianti, E., Permana, M. G., & Hartono, H. (2022). Response Surface Method for optimizing the injection moulding process in bracket production. *Journal Industrial Servics*, 8(2): 126-130.
9. Perdana, Y. K., Purwanti, E. P., & Karuniawan, B. W. (2020). Analisa Pengaruh Parameter Injection Moulding pada Produk Head Travel Kit Terhadap Cycle Time dan Netto Menggunakan Metode Response Surface. In *Proceedings Conference on Design Manufacture Engineering and its Application*, 4 (1): 29-38.
10. Rajendra, K., Vasudevan, H., & Vimal, G. (2019). Optimization of injection moulding process parameters using response surface methodology. In *Proceedings of International Conference on Intelligent Manufacturing and Automation: ICIMA 2018* (pp. 445-454). Springer Singapore
11. Sreedharan, J., & Ak, J. (2018). Optimization of plastics injection molding process using response surface methodology. *International Journal of Engineering & Technology*, 10(1):139-148.
12. Wibawansyah, S. (2024). Identify Product Defects In The Injection Molding Process. *Procedia of Engineering and Life Science*.7. (pp. 223-226) . [10.21070/pels.v7i0.1448](https://doi.org/10.21070/pels.v7i0.1448).