

OPTIMASI PRODUKSI DENGAN METODE *RESPONSE SURFACE*

Studi Kasus pada Perusahaan *Injection Moulding*

Jani Rahardjo

Dosen Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri – Universitas Kristen Petra

Rosalinawati Iman

Alumnus Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri – Universitas Kristen Petra

ABSTRAK

Dalam artikel ini, metode *response surface* digunakan untuk menentukan titik optimal dari *setting* mesin di perusahaan *injection moulding*, sehingga didapatkan jumlah produksi yang optimal. Selama ini perusahaan memproduksi produk yang terbuat dari plastik dengan tingkat kecacatan yang cukup besar. Karena itu, perusahaan berusaha mengurangi tingkat kecacatan yang terjadi. Berdasarkan diagram pareto, tingkat kecacatan terbesar adalah cacat lubang.

Untuk menyelesaikan penyebab kecacatan tersebut dilakukan suatu perancangan eksperimen yaitu dengan rancangan 3^k . Penyebab kecacatan adalah *inject pressure*, *inject timer*, temperatur. Pada saat *inject pressure* 55 Mpa, *inject timer* 4,2s dan temperatur 224° C menghasilkan kondisi yang optimal sehingga tingkat kecacatan turun sebesar 7.3 %.

Kata kunci: *response surface*, titik optimal setting, tingkat kecacatan.

ABSTRACT

In this article , response surface method is used to determine optimum setting for machine in order to optimize the production in injection moulding compan, which produces goods from plastic that has a large amount of defect. According to pareto chart, the largest defect is a hole defect. It is caused by no suitable setting for inject pressure, inject timer, and temperature.

In order to solve the problem, it used 3^k experiment design. The result show that the optimum setting are 55Mpa for inject pressure, 4.2s for inject timer, and 224° C for temperature with decreasing of defective 7.3 %.

Keywords: *response surface, optimum setting point, defect level.*

1. PENDAHULUAN

Studi kasus yang dibahas dalam artikel ini merupakan perusahaan plastik yang bergerak di bidang *injection molding*. Dalam melakukan *setting* mesin, perusahaan menggunakan sistem coba-coba sehingga tidak mempunyai standar proses yang pasti. Produksi di perusahaan pada saat ini mempunyai tingkat kecacatan yang cukup besar, sehingga perusahaan sangat menginginkan untuk dapat mengurangi tingkat kecacatan yang terjadi. Karena itu, ingin dicari faktor-faktor yang berpengaruh agar dapat meminimalkan tingkat kecacatan tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Perancangan eksperimen statistika merupakan suatu proses perencanaan eksperimen untuk memperoleh data yang tepat sehingga dapat dianalisa dengan metode statistik serta kesimpulan yang diperoleh dapat bersifat obyektif dan valid.

Salah satu metoda perancangan eksperimen yang digunakan untuk mengetahui kondisi optimal adalah Metode *Response Surface*. Metode ini menggabungkan teknik matematika dengan teknik statistika yang digunakan untuk membuat dan menganalisa suatu respon Y yang dipengaruhi oleh beberapa variabel bebas atau faktor X guna mengoptimalkan respon tersebut.

Hubungan antara respon Y dan variabel bebas dapat dirumuskan sebagai

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_k) + \hat{a}$$

dimana:

Y = variabel respon

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

\hat{a} = error

Hubungan antara Y dan X_i dapat dicari menggunakan *first order models* dan *second order models*, dimana *first order models* digunakan untuk mencari daerah optimal dan *second order models* digunakan untuk mencari titik optimal. Hubungan antara Y dan X_i untuk model orde pertama dapat ditulis sebagai

$$Y = \mathbf{b}_0 + \mathbf{b}_1 x_1 + \mathbf{b}_2 x_2 + \dots + \mathbf{b}_k x_k + \epsilon$$

Sementara, untuk model orde kedua dapat ditulis sebagai berikut:

$$Y = \hat{a}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{a}_i X_i + \sum_{i=1}^k \hat{a}_i X_i^2 + \sum_{i < j}^{k-1} \sum_{j=2}^k \hat{a}_{ij} X_i X_j + \hat{a}$$

dimana \hat{a} = koefisien regresi

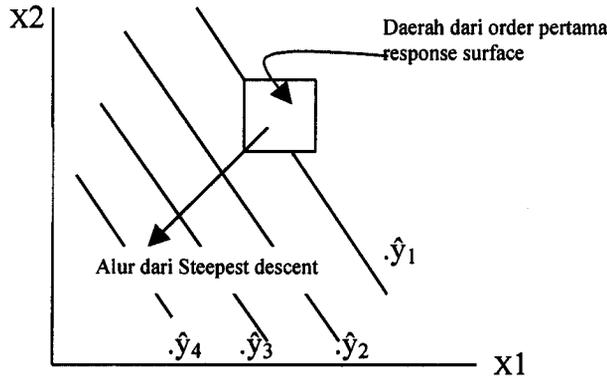
Steepest Descent

Pada estimasi awal dari kondisi optimal sering terjadi tidak menjadi titik optimal yang sebenarnya bahkan jauh dari kenyataannya, untuk itu dilakukan pencarian titik optimal yang mendekati kenyataan dengan suatu metode *steepest descent*. Metoda ini merupakan suatu prosedur dari pergerakan berurutan sepanjang alur dari *steepest descent* yang menunjukkan penurunan maksimal dari suatu hasil percobaan.

Model orde pertama dari *response surface* adalah

$$Y = \hat{a}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{a}_i X_i$$

Gambar 1 menunjukkan suatu daerah perkiraan *response surface orde* pertama yang belum merupakan titik optimal sebenarnya dan akan bergerak menuju titik optimal yang sebenarnya dengan mengikuti alur dari *steepest descent* yang pada akhirnya didapatkan titik optimal yang sebenarnya.



Gambar 1. Orde Pertama Response Surface dan Alur Steepest Descent

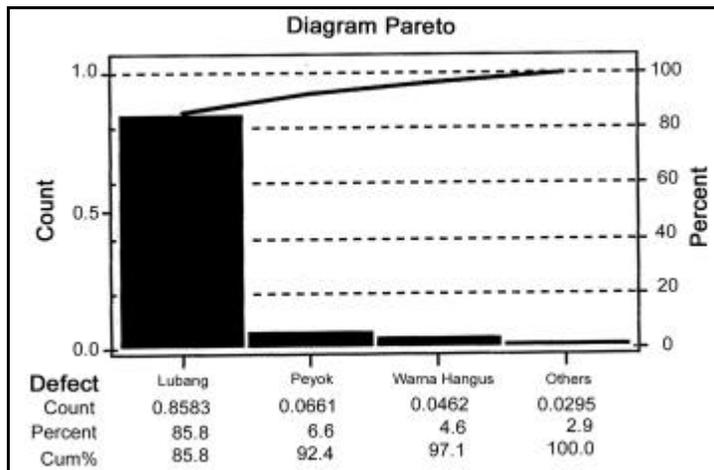
3. STUDI KASUS

Proses Produksi Produk Plastik.

Bahan baku plastik berupa *polypropilene* dicampur dengan zat pewarna pada mesin Mixer. Pencampuran tersebut berlangsung kurang lebih 5 menit, dan hasilnya akan dimasukkan ke dalam *hopper* mesin *injection molding* untuk diproses. *Polypropilene* secara bertahap diambil dari bak penampung dan dilewatkan elemen pemanas sehingga akan meleleh karena suhu tinggi. Kemudian dilakukan proses *injection* ke dalam cetakan dan cetakan akan menutup selama selang waktu tertentu. Setelah *polypropilene* menjadi padat, maka cetakan dibuka dan *ejector* akan meniup produk jadi.

Diagram Pareto

Langkah awal untuk mengetahui jenis kecacatan yang terjadi adalah dengan membuat Diagram Pareto. Diagram Pareto dapat dilihat pada Gambar 2.

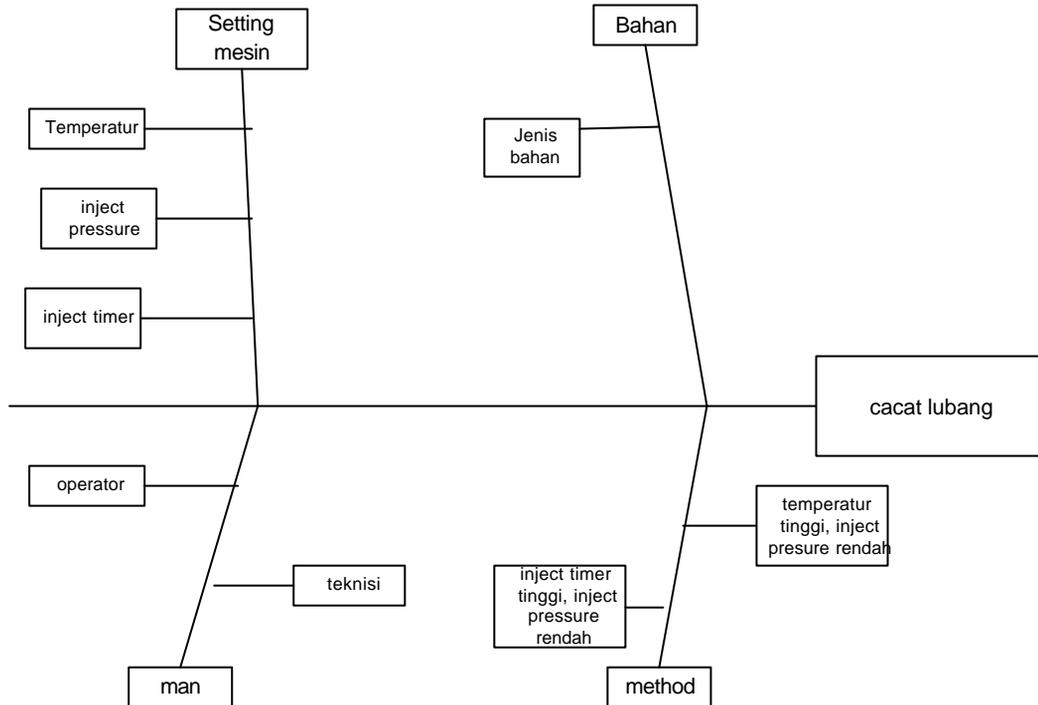


Gambar 2. Diagram Pareto

Berdasarkan prinsip pareto 80:20, cacat lubang adalah cacat yang perlu mendapatkan perhatian untuk diminimalkan. Untuk mencari penyebab cacat lubang dilakukan *brainstorming* dan hasilnya dapat digambarkan pada diagram sebab akibat berikut.

Diagram Sebab Akibat.

Diagram sebab akibat untuk cacat lubang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Sebab Akibat

Berdasarkan diagram tulang ikan pada Gambar 3, maka langkah selanjutnya adalah penentuan variabel *uncontrolable* dan *controlable*. Variabel *Controlable* adalah *setting mesin*, metode, Variabel *Uncontrolable* adalah *man*, bahan baku.

Faktor-faktor yang dapat dipakai untuk eksperimen desain pada kasus ini adalah:

- *Setting mesin*, *Setting temperatur*, *Setting inject pressure*, *Setting inject timer*.
- Metode yaitu bila temperatur dinaikkan, maka *injection pressure* diturunkan, bila *inject timer* dinaikkan, maka *injection pressure* diturunkan.

Penentuan Variabel, yaitu

- Variabel bebas (faktor) terdiri dari:
 - *Inject pressure* (X_1) : 54-58 Mpa
 - *Inject timer* (X_2) : 3-4 detik
 - Temperatur (X_3) : 210-230⁰C
- Variabel respon yaitu produk yang cacat, dalam hal ini adalah produk dengan cacat lubang.

Kode level dari variabel yang digunakan pada rancangan eksperimen dan nilai-nilai dari kode level dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kode Level Nilai Variabel

KODE	-1	0	1
<i>Inject pressure</i> (X_1)	54 Mpa	56 Mpa	58 Mpa
<i>Inject Timer</i> (X_2)	3 s	3,5 s	4 s
Temperatur (X_3)	210 ⁰ C	220 ⁰ C	230 ⁰ C

Pengujian Efek Faktor Utama dan Faktor Interaksi

Hasil pengolahan data dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengolahan Data

Analysis of Variance for Defect					
Source	DF	SS	MS	F	P
X1	2	1.23804	0.61902	690.64	0.000
X2	2	6.60520	3.30260	3684.72	0.000
X3	2	1.30884	0.65442	730.14	0.000
X1*X2	4	0.59769	0.14942	166.71	0.000
X1*X3	4	0.52058	0.13014	145.20	0.000
X2*X3	4	0.54969	0.13742	153.32	0.000
X1*X2*X3	8	1.52036	0.19004	212.03	0.000
Error	27	0.02420	0.00090		
Total	53	12.36460			

Dengan $\alpha = 5\%$, semua faktor utama dan interaksi berpengaruh secara signifikan dan didapatkan model orde pertama sebagai berikut:

$$Y = 0,3167 - 0,1844 X_1 - 0,4117 X_2 - 0,1906 X_3 + \hat{a}$$

Steepest Descent

Berdasarkan koefisien dari masing-masing faktor pada model orde pertama maka dihitung delta (Δ) untuk melakukan *steepest descent*. Dengan menjadikan ΔX_1 sebagai dasar, maka didapatkan:

$$\Delta X_1 = 1$$

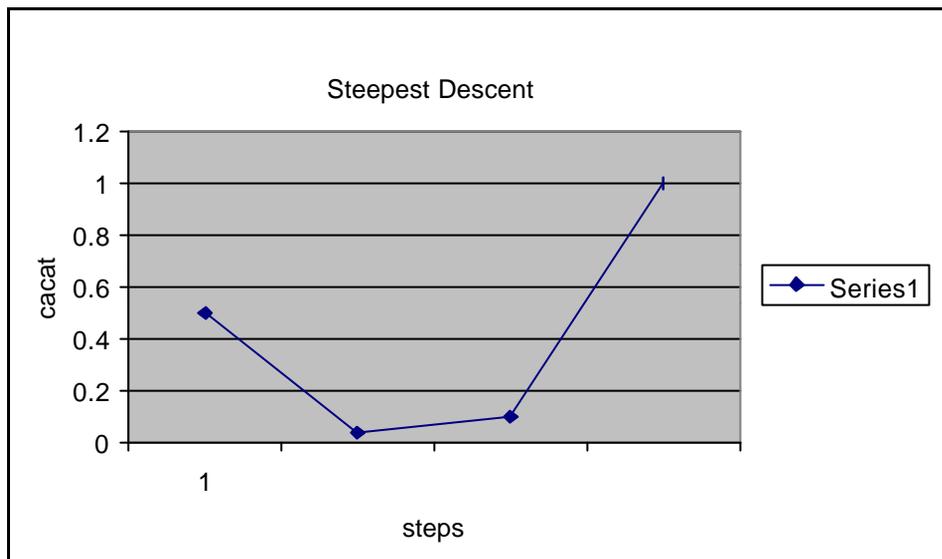
$$\Delta X_2 = -0,4117 / -0,1844 = 2,2326$$

$$\Delta X_3 = -0,1906 / -0,1844 = 1,0336$$

Langkah selanjutnya adalah melakukan percobaan berdasarkan Δ dari masing-masing faktor. Hasil Percobaan *steepest descent* dapat dilihat pada Tabel 3. dan grafiknya dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 3. Hasil Percobaan dengan *Steepest Descent*

Steps	Coded Variables			Natural Variables			Jumlah Cacat	Response y % Cacat
	x1	x2	x3	$\hat{i}1$	$\hat{i}2$	$\hat{i}3$		
Origin	0	0	0	56	35	220		
Δ	1	2,2326	1,0336	2	4	2		
Origin + 0,5 Δ	0,5	1,1163	0,5168	57	37	221	25	50%
Origin + Δ	1	2,2326	1,0336	58	39	222	2	4%
Origin + 1,5 Δ	1,5	3,3489	1,5504	59	41	223	5	10%
Origin + 2 Δ	2	4,4652	2,0672	60	43	224	50	100%

**Gambar 4.** Grafik *Steepest Descent*

Dari Gambar 4 terlihat bahwa kecacatan terendah diperoleh pada saat $\hat{x}_1 = 58$, $\hat{x}_2 = 39$, $\hat{x}_3 = 222$

Setelah diperoleh titik dengan kecacatan terendah, maka dilakukan rancangan percobaan lagi dengan dasar titik tersebut. Kode level nilai X_1 , X_2 , X_3 setelah *steepest descent* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kode Level Nilai X_1 , X_2 , X_3 Setelah *Steepest Descent*

KODE	-1	0	1
Inject pressure (X_1)	56 Mpa	58 Mpa	60 Mpa
Inject Timer (X_2)	3,4 s	3,9 s	4,4 s
Temperatur (X_3)	212 ⁰ C	222 ⁰ C	232 ⁰ C

Pengujian Efek Faktor Utama dan Faktor Interaksi

Hasil Pengolahan Data setelah *steepest descent* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengolahan Data Setelah *Steepest Descent*

Analysis of Variance for Defect					
Source	DF	SS	MS	F	P
X1	2	0.41157	0.20579	254.87	0.000
X2	2	1.63895	0.81947	1014.94	0.000
X3	2	0.05375	0.02687	33.28	0.000
X1*X2	4	3.58523	0.89631	1110.11	0.000
X1*X3	4	0.65896	0.16474	204.04	0.000
X2*X3	4	0.75212	0.18803	232.88	0.000
X1*X2*X3	8	0.84050	0.10506	130.12	0.000
Error	27	0.02180	0.00081		
Total	53	7.96288			

Dengan $\alpha = 5\%$, semua faktor utama dan interaksi berpengaruh secara signifikan dan didapatkan model orde kedua sebagai berikut:

$$Y = -0,09630 + 0,08278 X_1 + 0,14 X_2 - 0,00778 X_3 + 0,11722 X_1^2 + 0,27889 X_2^2 + 0,06556 X_3^2 + 0,36917 X_1X_2 + 0,085 X_1X_3 + 0,16833 X_2X_3 + \hat{a}$$

Penentuan Titik Optimum

Matriks berikut dibuat berdasarkan koefisien pada model orde kedua diatas, yaitu

$$b = \begin{bmatrix} 0,08278 \\ 0,14000 \\ -0,00778 \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} 0,11722 & 0,184585 & 0,0425 \\ 0,184585 & 0,27889 & 0,084165 \\ 0,0425 & 0,084165 & 0,06556 \end{bmatrix}, \text{ dan}$$

$$X_s = (-1/2) x B^{-1} b$$

didapatkan

$$X_s = \begin{bmatrix} -1,41703 \\ 0,63951 \\ 0,15695 \end{bmatrix}$$

Dari matriks, diatas didapatkan

$$-1,41703 = \frac{\alpha_1 \cdot 58}{2} \Rightarrow \alpha_1 = 55,16594$$

$$0,63951 = \frac{\alpha_2 \cdot 39}{5} \Rightarrow \alpha_2 = 42,19755$$

$$0,15695 = \frac{\alpha_3 \cdot 222}{10} \Rightarrow \alpha_3 = 223,5695$$

Maka, titik optimumnya diperoleh pada saat $X_1 = 55$, $X_2 = 42$, $X_3 = 224$

Implementasi Nilai Optimal

Berdasarkan nilai optimal yang diperoleh, dilakukan percobaan dengan *setting* nilai optimal yang diperoleh sebagai implementasi. Percobaan dilakukan sebanyak sepuluh kali replikasi dengan tiap replikasi sebanyak 50 produk. Hasil implementasi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Implementasi

Std order	X1	X2	X3	Jumlah cacat	% Cacat
1	55	42	224	1	2%
2	55	42	224	0	0%
3	55	42	224	0	0%
4	55	42	224	0	0%
5	55	42	224	2	0%
6	55	42	224	1	2%
7	55	42	224	0	0%
8	55	42	224	0	0%
9	55	42	224	2	4%
10	55	42	224	0	0%
			Jumlah	6	
			Rata-rata		1,2%

Verifikasi

Uji ini dilakukan untuk membandingkan kondisi awal dan kondisi setelah didapatkan setting mesin yang optimal. Pada kondisi awal didapatkan kecacatan sebesar 9,7% dan pada kondisi setelah implemtasi kondisi optimal kecacatan sebesar 1,2%. Hal ini tidak secara otomatis dikatakan terjadi penurunan tingkat kecacatan melainkan harus diuji apakah benar terjadi penurunan dengan menggunakan pengujian secara statistik. Pengujian statistik untuk dua proporsi didapatkan hasil sebagai berikut :

$$H_0 : \hat{p} = 0,097 \text{ (Rata-rata kecacatan pada kondisi sekarang sebesar 0,097)}$$

$$H_1 : \hat{p} < 0,097 \text{ (Rata kecacatan pada kondisi sekarang lebih kecil dari 0,097)}$$

$$Z = \frac{0,012 - 0,097}{\sqrt{\frac{0,097 \times 0,903}{500}}} = -6,439$$

$$-Z_{0.05} = -1,645$$

Nilai $Z_{hitung} = -6,439$ lebih kecil dari pada nilai tabel Normal dengan tingkat signifikansi 96% yang berarti bahwa pengujian dua proporsi adalah signifikan. Jadi memang benar telah terjadi penurunan tingkat kecacatan dengan adanya rancangan percobaan 3^k .

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan analisa data dan pembahasan maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Jenis kecacatan yang terjadi adalah lubang, peyok, warna hangus dan tidak rata. 85,83% kecacatan terbesar adalah lubang
2. Cacat lubang disebabkan karena *Setting inject pressure*, *Setting inject timer*, dan *Setting temperatur*.
3. Kondisi optimal dengan kecacatan sebesar 1,2% diperoleh pada saat *Inject pressure* = 55 Mpa, *Inject timer* = 4,2 detik, dan *Temperatur* = 224 C.
4. Dari kondisi yang optimum didapatkan penurunan tingkat kecacatan sebesar 7.3%.

DAFTAR PUSTAKA

- Montgomery, D.C., 1997. *Design and Annalysis of Experiments*, 4th edition. Wiley, New York.
- Box, G.E.P, W.G. Hunter, and J.S. Hunter, 1978. *Statistics for Experimenters*, Wiley, New York.
- Draper, N.R., and H.Smith, 1981. *Applied Regression Analysis*, 2nd edition, Wiley, New York.