

Optimasi Proses Injeksi dengan Metode Taguchi

Didik Wahjudi, Gan Shu San

Dosen Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Yohan Pramono

Alumnus Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Abstrak

Pada saat ini sekitar 3% produk yang dihasilkan oleh perusahaan plastik "X" tidak memenuhi standar. Perusahaan mengalami kesulitan untuk menurunkan tingkat kecacatan produk tersebut. Hal inilah yang mendasari penelitian dengan metode Taguchi yang bertujuan untuk menurunkan tingkat kecacatan produk.

Dari survey lapangan didapatkan faktor-faktor yang dicurigai dan ditampilkan dalam bentuk diagram tulang ikan. Dari faktor-faktor yang dicurigai berpengaruh, perusahaan memilih faktor-faktor yang diijinkan untuk dieksperimentasikan. Empat faktor yang akan dieksperimentasikan adalah persentase bahan pelet, temperatur (217°C, 225°C, 233°C), tekanan injeksi (92 Bar, 93 Bar, 94 Bar), *screw speed* (81%, 83%, 85%). Metode Taguchi dipergunakan untuk menentukan kombinasi dan jumlah dari eksperimen.

Dari tingkat kecacatan tiap kondisi dilakukan analisa sehingga didapatkan variabel yang berpengaruh. Dari hasil analisa didapat bahwa kombinasi persentase bahan pelet (80%), temperatur (225°C), tekanan injeksi (93 Bar) serta *screw speed* (83%) dapat menurunkan tingkat kecacatan hingga 0,3%.

Kata kunci: Metode Taguchi, cacat produk, diagram tulang ikan.

Abstract

At this time about 3% of products produced by "X" plastic factory does not reach the standard. This factory has a problem to minimize the amount of defects. Taguchi method is used to lower the level of product defects.

From the field survey, all the suspected factors can be obtained and it is shown in the fishbone diagram. From the suspected factors, the factory chose factors that are to be used in the experiments. Experiments were conducted using those four factors: pellet material percentage (60%, 70%, 80%), temperature (217°C, 225°C, 233°C), injection pressure (92 Bar, 93 Bar, 94 Bar), screw speed (81%, 83%, 85%). Taguchi method provides the combination and number of experiments.

From each level of defects condition, analysis was done to obtain the affecting variables. The results of analysis show that the combination of pellet material (80%), temperature (225°C), injection pressure (93 Bar), screw speed (83%) can minimize the amount of defects to 0.3%.

Keywords: Taguchi method, product defect, fishbone diagram.

1. Pendahuluan

Pada produksi tempat nasi dengan berbagai macam ukuran dan bentuk di perusahaan "X" ditemui banyak faktor yang mempengaruhi hasil produksi mulai dari kondisi mesin, setting mesin hingga bahan baku plastik. Saat ini perusahaan menemukan bahwa sekitar 3% dari produk yang dihasilkan tidak memenuhi standar yang ditetapkan oleh perusahaan. Standar yang dimaksud adalah: bagian tepi

produk tidak terisi plastik, bagian tepi produk tidak terdapat kelebihan plastik, ram tidak terisi kelebihan plastik dan tidak lengket pada *dies*. Perusahaan ingin menentukan dan mengendalikan faktor-faktor yang berpengaruh pada terjadinya cacat produk tersebut. Untuk itu dilakukan penelitian untuk mendapatkan faktor yang berpengaruh dan mengetahui besar pengaruh dari masing-masing faktor tersebut kemudian mengetahui level yang tepat bagi tiap faktor sehingga proses produksi mencapai tingkat kecacatan minimum. Dengan demikian kualitas hasil produksi tetap terjaga disamping efisiensi dan efektifitas perusahaan dapat ditingkatkan.

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juli 2001. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 3 Nomor 2 Oktober 2001.

2. Metodologi dan Batasan Permasalahan

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Survey lapangan untuk mendapatkan faktor-faktor yang diduga mempengaruhi terjadinya cacat pada proses injeksi plastik.
- Memilih faktor yang diduga banyak berpengaruh dengan menggunakan diagram tulang ikan.
- Memilih desain eksperimen yang akan dilakukan
- Melakukan eksperimen untuk memperoleh data
- Melakukan analisa data dari eksperimen
- Melakukan eksperimen dan analisa kembali apabila diperlukan
- Melakukan analisa verifikasi guna mengambil kesimpulan akhir.

Batasan permasalahan yang diambil adalah:

- Pengujian dan pengambilan data dilakukan untuk produksi jenis wakul cengkeh
- Pengujian dan pengambilan data dilakukan untuk produksi dengan mesin injection plastik merk ENAIVIV tipe AMB-150

3. Dasar Teori

Metode Taguchi adalah metodologi teknik untuk merekayasa atau memperbaiki produktivitas selama penelitian dan pengembangan supaya produk-produk berkualitas tinggi dapat dihasilkan dengan cepat dan dengan biaya rendah. Metode Taguchi merupakan metode perancangan yang berprinsip pada perbaikan mutu dengan memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan penyebabnya. Hal ini dapat diperoleh melalui optimasi produk dan perancangan proses untuk membuat unjuk kerja kebal terhadap berbagai penyebab variasi suatu proses yang disebut perancangan parameter. Alat ukur pada metode Taguchi adalah

- Fungsi Kerugian Mutu
Fungsi ini dimaksudkan untuk menghitung kerugian mutu yang terjadi. Bila mutu suatu produk semakin dekat dengan nilai target maka mutu yang dihasilkan semakin baik. Fungsi kerugian mutu dapat digambarkan dengan fungsi kuadrat yang terdiri atas 3 macam yaitu :
 - a. Jenis Nominal terbaik (*nominal the best*)
Digunakan bila karakteristik mutu mempunyai nilai target tertentu, biasanya bukan nol, dan kerugian mutunya simetris pada kedua sisi target.

- b. Jenis semakin kecil semakin baik (*smaller the better*)
Digunakan bilamana karakteristik mutunya tidak negatif, idealnya nol.
- c. Jenis semakin besar semakin baik (*larger the better*)
Digunakan bilamana karakteristik mutu yang dikehendaki semakin besar nilainya semakin baik.

- Signal to Noise Ratio (SNR)
SNR adalah logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadrat dan digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu produk. SNR mengukur tingkat unjuk kerja dan efek dari faktor noise dari unjuk kerja tersebut dan juga mengevaluasi stabilitas unjuk kerja dari karakteristik mutu *output*. Semakin tinggi unjuk kerja yang diukur dengan tingginya SNR sama dengan kerugian yang mengecil. Seperti fungsi kerugian mutu, SNR adalah ukuran obyektif dari kualitas yang memuat baik mean dan varian dalam perhitungan. Ada beberapa jenis SNR yaitu :

- a. *Nominal the best*

$$h = -10 \log_{10} \left(\frac{m^2}{s^2} \right)$$

- b. *Smaller the better*

$$h = -10 \log_{10} (\bar{y}^2 + s^2)$$

- c. *Larger the better*

$$h = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

4. Rancangan Eksperimen dan Data Percobaan

Sebelum melakukan eksperimen, perlu dibuat diagram tulang ikan untuk dapat menentukan faktor-faktor yang diperkirakan dapat mempengaruhi produktivitas. Faktor-faktor tersebut dibagi menjadi 4 kategori yaitu operator, material, peralatan dan pengukuran.

Kemudian dari diagram tulang ikan tersebut ditentukan variabel eksperimen yaitu :

1. Variabel respon : tingkat kecacatan
2. Variabel bebas/ faktor, terdiri atas :
 - Persentase bahan pelet (%), yaitu : 60, 70, 80.
Persentase ini adalah rasio antara bahan pelet (bentuk butiran) dengan bahan gilingan (bentuk serpih/*flakes*). Persentase bahan pelet yang lebih kecil dari 60% akan menyebabkan material tidak dapat turun ke barrel sehingga plastik tidak bisa mengisi ke seluruh bagian dies, sedangkan persentase yang lebih dari

80% akan menghasilkan produk dengan warna yang lebih gelap yang tidak diinginkan perusahaan.

- Temperatur (°C), yaitu : 217, 225, 233.
Jenis bahan yang digunakan adalah H.P.E. dengan temperatur injeksi antara 190°C hingga 260°C. Karena bahan yang digunakan adalah hasil daur ulang maka untuk pemilihan level temperatur terkecil ditentukan 217°C. Sedangkan untuk temperatur yang terlalu tinggi, produk menjadi lengket pada dies.
- Tekanan injeksi (bar), yaitu : 92, 93, 94.
Tekanan injeksi yang terlalu kecil akan menyebabkan plastik tidak bisa mengisi ke seluruh bagian dies, sedangkan tekanan yang terlalu besar akan menyebabkan bagian ram serta bagian tepi produk akan terisi kelebihan plastik.
- *Screw speed* (%), yaitu : 81, 83, 85.

Dalam eksperimen ini digunakan 4 faktor dengan rancangan 3 level. Dari jumlah level dan faktor yang ada dapat ditentukan jumlah baris untuk matriks orthogonal yaitu 9, yang menunjukkan jumlah percobaan sebanyak 9 run. Run ini direplikasi sebanyak 3 kali sehingga total eksperimen sejumlah 27 eksperimen. Adapun kode level nilai variabel dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Kode Level Nilai Variabel

Kode	1	2	3
A Persentase bahan pelet (%)	60	70	80
B Temperatur (°C)	217	225	233
C Tekanan injeksi (bar)	92	93	94
D <i>Screw speed</i> (%)	81	83	85

Prosedur percobaan adalah sebagai berikut :

1. Memasukkan bahan baku yang sudah dicampur sesuai dengan persentase bahan palet pada kombinasi perlakuan.
2. Mengatur temperatur *heater* sesuai dengan kombinasi perlakuan.
3. Menunggu temperatur *heater* pada layar petunjuk hingga konstan.
4. Mengatur tekanan injeksi sesuai dengan kombinasi perlakuan.
5. Mengatur *screw speed* sesuai dengan kombinasi perlakuan.
6. Mencatat hasil eksperimen berupa jumlah cacat produksi setiap 100 buah produk.

Data hasil eksperimen dapat dilihat pada tabel 2 :

Tabel 2. Data hasil eksperimen

Order	FAKTOR				Jumlah cacat / 100		
	A	B	C	D	1	2	3
1	1	1	1	1	0.14	0.17	0.15
2	1	2	2	2	0.04	0.03	0.01
3	1	3	3	3	0.61	0.60	0.56
4	2	1	2	3	0.08	0.07	0.05
5	2	2	3	1	0.14	0.16	0.17
6	2	3	1	2	0.27	0.19	0.22
7	3	1	3	2	0.00	0.01	0.00
8	3	2	1	3	0.00	0.01	0.01
9	3	3	2	1	0.09	0.07	0.06

5. Analisa Data

5.1 Pengolahan data dengan metode Taguchi

Dari hasil percobaan dapat dihitung rata-rata, standard deviasi serta SNR sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel 3. Untuk SNR dipilih smaller the better karena jenis karakteristik mutu untuk cacat adalah semakin kecil semakin baik.

Tabel 3. Tabel Rata-rata, s dan SNR

Order	FAKTOR				Jumlah cacat/100			Y bar	s	SNR
	A	B	C	D	1	2	3			
1	1	1	1	1	0.14	0.17	0.15	0.1533	0.0152753	16.2444
2	1	2	2	2	0.04	0.03	0.01	0.0267	0.0152753	30.2482
3	1	3	3	3	0.61	0.60	0.56	0.5900	0.0264575	4.5742
4	2	1	2	3	0.08	0.07	0.05	0.0667	0.0152753	23.2996
5	2	2	3	1	0.14	0.16	0.17	0.1567	0.0152753	16.0594
6	2	3	1	2	0.27	0.19	0.22	0.2267	0.0404145	12.7563
7	3	1	3	2	0.00	0.01	0.00	0.0033	0.0057735	43.5218
8	3	2	1	3	0.00	0.01	0.01	0.0067	0.0057735	41.0914
9	3	3	2	1	0.09	0.07	0.06	0.0733	0.0152753	22.5095

Dari tabel 3 kemudian dilakukan perhitungan efek untuk mean yang hasilnya dituliskan pada tabel 4. Adapun contoh perhitungan tabel efek adalah sebagai berikut :

Rata-rata respon untuk A1 :

$$A1 \text{ bar} = (0.1533+0.0267+0.5900)/3 = 0.25667$$

Efek untuk faktor A :

$$\begin{aligned} \text{Efek faktor A} &= \text{rata-rata respon terbesar} - \text{rata-rata respon terkecil} \\ &= 0.25667 - 0.02778 = 0.22889 \end{aligned}$$

Dari efek tiap-tiap faktor dapat dilihat urutan pengaruh dari tiap-tiap faktor faktor mulai yang berpengaruh besar sampai yang berpengaruh kecil. Dari rata-rata respon tiap faktor dipilih yang paling kecil sebagai rancangan usulan karena karakteristik mutu untuk cacat adalah *smaller the better*.

Tabel 4. Tabel Efek untuk Mean

	A	B	C	D
Level 1	0.25667	0.07444	0.12889	0.12778
Level 2	0.15000	0.06333	0.05556	0.08556
Level 3	0.02778	0.29667	0.25000	0.22111
Efek	0.22889	0.23333	0.19444	0.13556
Rank	2	1	3	4
Optimum	A3	B2	C2	D2

Selain efek untuk mean, dapat juga dihitung efek untuk SNR. Hasil perhitungan efek untuk SNR dapat dilihat pada tabel 5. Adapun contoh perhitungannya adalah sebagai berikut :

Rata-rata respon untuk A1 :

$$A1 \text{ bar} = (16.2444 + 30.2482 + 4.5742) / 3 = 17.02228$$

Efek untuk faktor A :

$$\text{Efek faktor A} = \text{rata-rata respon terbesar} - \text{rata-rata respon terkecil}$$

$$= 35.70759 - 17.02228 = 18.68531$$

Tabel 5. Tabel Efek untuk SNR

	A	B	C	D
Level 1	17.02228	27.68860	23.36405	18.27109
Level 2	17.37177	29.13302	25.35245	28.84213
Level 3	35.70759	13.28003	21.38515	22.98843
Efek	18.68531	15.85299	3.96730	10.57104
Rank	1	2	4	3
Optimum	A3	B2	C2	D2

Dari tabel 4 dan 5 didapat rancangan usulan yang sama yaitu A3 B2 C2 D2

5.2 Anova

Dari tabel ANOVA dapat dilihat faktor-faktor yang secara signifikan mempengaruhi cacat pada produk. Hasil perhitungan ANOVA dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Tabel ANOVA

Source	SS	v	Mq	F-ratio	SS'	r%
A	0.236117	2	0.1181593	297.9065	0.23533	28.86464
B	0.311852	2	0.1559259	393.4579	0.31106	38.15395
C	0.173563	2	0.0867815	218.9813	0.17277	21.19169
D	0.086607	2	0.0433037	109.2710	0.08581	10.52589
E	0.007133	18	0.0003963	1.0000	0.01030	1.26383
St	0.815274	26	0.0313567		0.81527	100.00000
Mean	0.566226	1				

Dari tabel diatas terlihat bahwa semua faktor yang dipilih secara signifikan mempengaruhi cacat pada produk (F-ratio > F-tabel), dimana F-tabel = $F_{0,05,2,18} = 3.35$ dengan $\alpha=5\%$. Dari persen kontribusi terlihat kesamaan tingkat pengaruh dengan tabel efek untuk mean seperti pada tabel 7.

Tabel 7. Tabel ranking pengaruh

Rank	Mean	SNR	ANOVA
1	B	A	B
2	A	B	A
3	C	D	C
4	D	C	D

Meskipun menunjukkan ranking yang berbeda, tetapi hasil rancangan usulan yang diperoleh sama. Pada pelaksanaan sehari-hari di pabrik tidak ditemui kesulitan untuk melakukan perubahan *setting* sehingga ranking yang berbeda tidak menjadi masalah.

5.3 Uji Verifikasi

Setelah rancangan optimal telah ditentukan maka harus diketahui pula prediksi respon dari rancangan optimal tersebut. Kemudian dilakukan eksperimen verifikasi untuk dibandingkan dengan hasil prediksi respon. Jika prediksi respon dan eksperime verifikasi cukup dekat satu sama lain maka dapat disimpulkan bahwa rancangan cukup memadai. Sebaliknya, jika hasil eksperimen verifikasi jauh dari hasil prediksi maka dikatakan rancangan belum memadai.

Untuk rancangan usulan (A3 B2 C2 D2) besar prediksi dari rata-rata proses adalah :

$$m_{prediksi} = \bar{A}_3 + \bar{B}_2 + \bar{C}_2 + \bar{D}_2 - 3\bar{y} = 0.02778 + 0.06333 + 0.05556 - 0.08556 - 3 * 0.1448 = -0.2022222$$

Karena karakteristik yang dipakai adalah *smaller the better* tidak mengenal harga negatif maka μ prediksi dianggap nol.

Sedangkan eksperimen verifikasi yang dilakukan memberikan hasil seperti pada tabel 8.

Tabel 8. Tabel Hasil Eksperimen Verifikasi (A3 B2 C2 D2)

No	Jumlah cacat/100
1	0
2	0
3	0.01
Rata-rata	0.003
Standar deviasi	0.0057735

Untuk membandingkan hasil eksperimen dengan prediksi dilakukan uji hipotesa sebagai berikut :

$$H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_1 : \mu \neq \mu_0$$

dimana

$$\mu = \mu_{\text{verifikasi}}$$

$$\mu_0 = \mu_{\text{prediksi}}$$

$$\text{syarat penolakan } H_0 \text{ adalah } |t_0| > t_{\alpha/2, v}$$

$$t_0 = (0.003 - 0) / (0.0057735/\sqrt{3}) = 1$$

$$v = n-1 = 3-1 = 2$$

$$t_{0.025,2} = 4.303$$

$$|t_0| < t_{\alpha/2, v} \rightarrow \text{gagal tolak } H_0$$

Jadi tidak cukup bukti untuk menolak bahwa $\mu = \mu_0$

Selain dibandingkan dengan prediksi respon, hasil eksperimen juga dibandingkan dengan kondisi awal perusahaan (A2 B2 C2 D2). Jika hasil eksperimen verifikasi lebih kecil dibandingkan kondisi awal maka disimpulkan bahwa rancangan cukup memadai.

Kondisi awal perusahaan dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Tabel Hasil Eksperimen Kondisi Awal Perusahaan (A2 B2 C2 D2)

No	Jumlah cacat/100
1	0.02
2	0.04
3	0.03
Rata-rata	0.03
Standard deviasi	0.01

Uji hipotesa untuk membandingkan hasil eksperimen kondisi awal dengan hasil prediksi adalah sebagai berikut :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 < \mu_2$$

Dimana

$$s_1^2 \neq s_2^2$$

$$\mu_1 = \mu_{\text{verifikasi}}$$

$$\mu_2 = \mu_{\text{kondisi-awal}}$$

syarat penolakan H_0 adalah $t_0 < -t_{\alpha, v}$

$$t_0 = (0.03 - 0.00333) / \sqrt{\{(0.01)^2/3 + (0.0057735)^2/3\}} = -4$$

$$v = 4.4 \approx 5$$

$$t_{0.05,5} = 2.015$$

$$|t_0| < -t_{0.05,5} \rightarrow \text{tolak } H_0$$

Jadi dapat dikatakan bahwa $\mu_1 < \mu_2$

Dengan melihat hasil uji hipotesa hasil eksperimen verifikasi baik dengan prediksi maupun kondisi awal perusahaan dapat dikatakan bahwa rancangan usulan cukup memadai.

6. Kesimpulan dan saran

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan :

- Dengan melihat hasil uji hipotesa antara hasil eksperimen verifikasi baik dengan prediksi maupun dibandingkan kondisi awal perusahaan maka penggunaan metode perancangan Taguchi dapat meminimalkan tingkat kecacatan dari produk tempat nasi.

- Dengan melihat hasil perbandingan tingkat kecacatan antara kondisi awal (3%) dengan penelitian rancangan usulan (0.3%) maka *setting* yang diusulkan untuk pihak perusahaan untuk mendapatkan hasil yang paling baik adalah : persentase bahan pelet 80%, temperatur 225°C, tekanan injeksi 93 bar dan *screw speed* 83%.

Adapun untuk memperbaiki hasil penelitian ini dapat dilakukan percobaan lanjutan yaitu dengan mengatur kembali level serta menambahkan faktor lain yang masih dapat dikendalikan.

Daftar Pustaka

1. Bagchi, Tapan P. *Taguchi Method Explained : Practical Steps to Robust Design*. New Delhi : Prentice Hall, 1993
2. Montgomery, D.C. *Statistical Quality Design & Control : Contemporary Concepts and Methods*. New York : Mac Milan Publishing Company, 1992
3. Phadke, Madhav S. *Quality Engineering Using Robust Design*. New Jersey : Prentice Hall, 1989.
4. Lochner, Robert H., and Joseph E, Matar. *Designing for Quality : an Introduction to the Best of Taguchi's & Western Methods of Statistical Experimental Design*. New York : Quality Resources, 1990.
5. Belavendram, Nicolo. *Quality by Design : Taguchi Techniques for Industrial Experimentation*. London: Prentice Hall International, 1995.