

OPTIMASI PRODUKSI TUTUP BOTOL 500 ml PADA PROSES INJECTION MOULDING MENGUNAKAN METODE *RESPONSE SURFACE*

Kurniawan Purnama Putra¹, Dwi Djumhariyanto², R. Koekoeh K. W.²

¹Alumni Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

²Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember Jl. Kalimantan 37 Jember 68121

Email: kurniawanpurnamap@gmail.com

ABSTRACT

Injection molding is one of the most common operations and versatile for mass production of complex plastic components. Injection molding is a process of plastic forming into a desired shape by means of pressing molten plastic into a space (cavity). Injection molding has a multi-step process, starting from inserting plastic pellets into the hopper, then plastic pellets into barrels / heating which makes the plastic material is melted. Melting plastic material is driven by the rotation of the screw, so that the flow to the nozzle, and then toward the sprue, runner, gate and into the cavity. Then the material present in the cavity will be retained within the mold under a certain pressure (holding pressure) to keep no shrinkage when the product cooling process (cooling). The purpose of this study was to obtain the optimization of the cycle time and the percentage of production reject the bottle cap 500 ml in PT Berlina Tbk. The method used for this research is the method of response surface analysis, method surface response is statistical and mathematical methods used to examine the relationship between one or more variables with the qualitative form of the response variables that aims to optimize and develop the response in an experiment. The data is optimized using Minitab software 16 produces an output response parameter setting optimization to inject pressure, nozzle temperature and cooling time. From the data analysis using the software Minitab 16 is obtained from the optimum situation results generated under conditions injection amounting to 1420 bar pressure; nozzle temperature at 264.7912 ° C; and the cooling time of 14.08 seconds. In this state of production can be increased by 10.836%. From the state of the optimum cycle time generated is 27.9161 seconds, net produced according to the standard that is 33.5820 grams and reject percentage the resulting is 11.11%. With a cycle time 27.9161 seconds with a net according to the standard and the percentage of rejects decreased 3.89%, the resulting product amounts to ± 15,517 /shift or up approximately 10.836%. The amount is based on the number of products produced in the cycle time previous of 30 seconds to produce ± 14,000 /shift.

Keywords: Injection moulding, box-benhken design, Response surface methodology

PENDAHULUAN

Injection moulding adalah salah satu operasi yang paling umum dan serba guna untuk produksi massal pada komponen plastik yang kompleks. *Injection moulding* merupakan suatu proses pembentukan plastik kedalam bentuk yang diinginkan dengan cara menekan plastik cair kedalam sebuah ruang (*cavity*) [1]. *Injection moulding* memiliki beberapa langkah proses, yaitu mulai dari memasukkan biji plastik kedalam *hopper*, kemudian biji plastik masuk kedalam *barrel*/pemanas yang menjadikan material plastik meleleh. Material plastik leleh didorong oleh putaran *screw*, sehingga mengalir ke *nozzle*, lalu menuju *sprue*, *runner*, *gate* dan masuk ke dalam *cavity*. Kemudian material yang ada didalam

cavity akan ditahan didalam *mould* di bawah tekanan tertentu (*holding pressure*) untuk menjaga tidak ada *shrinkage* saat produk mengalami proses pendinginan (*cooling*) [2]. PT.

Berlina Tbk merupakan perusahaan yang memproduksi komponen komponen dan peralatan yang terbuat dari plastik. Salah satu mesinnya adalah ARB 100 yang merupakan salah satu mesin *injection moulding* yang memproduksi tutup botol 500 ml. Dalam memproduksi tutup botol ini, *cycle time* PT. Berlina Tbk telah mencapai diatas standart yaitu 30 detik, karena *cycle time* dari perhitungan engineering (Divisi Desain *Mould*) adalah 28 detik. Ini merupakan pencapaian nilai yang tidak optimal dan cukup merugikan perusahaan karena dengan semakin

lama *cycle time* produksi maka akan menambah waktu produksi. Nilai *cycle time* ini didapat dari beberapa *trial* manual yang dilakukan oleh PT. Berlina. *Cycle time* atau waktu siklus adalah waktu yang dibutuhkan mesin untuk memproduksi suatu produk [3]. Besar kecilnya *cycle time* dapat dipengaruhi beberapa faktor : antara lain kesalahan desain *mould* dan kesalahan operasi akibat dari parameter proses *injection* kurang sesuai. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis dan evaluasi terhadap parameter-parameter (variabel faktor) *injection* tersebut, dengan harapan dapat mempercepat *cycle time* tanpa mengurangi kualitas produk dengan menggunakan metode statistik *respon surface*.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan penentuan parameter dan level parameter dan disusun dengan *desain box-benhken* untuk masing masing respon dan dianalisis menggunakan minitab 16 untuk dapat diketahui model matematisnya dan dapat dianalisa normalitas data dan kesesuaian model. Data yang diambil terdiri dari data *cycle time*, netto dan jumlah reject yang diambil dari 10 kali percobaan dengan replikasi sebanyak 6 kali. Tahapan Penelitian adalah sebagai berikut :

1. Penentuan Desain Eksperimen

Tahap ini merupakan tahap perencanaan sebelum dilakukan eksperimen dengan tujuan agar percobaan yang dilakukan akan mencapai sasaran yang tepat sesuai tujuan yang diinginkan.

2. Pelaksanaan Eksperimen

Berikut ini adalah langkah langkah yang digunakan dalam pengambilan data atau prosedur melakukan eksperimen adalah sebagai berikut:

- Memasukkan bahan baku plastik ke dalam tendon material dan mengatur perbandingan material murni dan material afval yang akan diproses yaitu 75% material murni PP dan 25 % material afval.
- Mengatur *temperature barrel* sesuai dengan *melting point* PP.
- Mengatur *injection pressure* sesuai standar awal perusahaan yaitu 1450 bar.
- Mengatur *temperature nosel* sesuai standar awal yaitu 260 °C.
- Mengatur *colling time* sesuai standar awal yaitu 15 detik.
- Menjalankan mesin dengan kondisi maksimum. Yang dimaksud mesin dalam kondisi maksimum adalah mesin pada kondisi panas dan produk yang dihasilkan stabil.
- Ulangi langkah (1) sampai dengan (6) dengan merubah nilai variabel *inject pressure*,

temperature, dan *colling time* sesuai dengan level.

- Pengambilan dan pengukuran berat produk dilakukan dengan 10 kali percobaan dengan 6 replikasi yakni percobaan 2, 3, 4, 7, 8, 10. replikasi ini dimaksudkan untuk pengambilan sampel acak dari percobaan yang dilakukan.
- Pengukuran kecepatan waktu siklus produksi (*cycle time*) menggunakan stopwatch dan pengukuran berat produk menggunakan timbangan yang dimiliki PT. Berlina Tbk.
- Pengukuran berat *netto* produk tutup botol berulir 500 ml menggunakan neraca atau timbangan yang dimiliki perusahaan.
- Dilakukan pemeriksaan kualitas pada setiap hasil percobaan. Kualitas produk harus sesuai dengan kriteria yang diinginkan PT. Berlina Tbk.

3. Analisa Data dan Optimasi

Metode yang digunakan pada tahap ini adalah metode permukaan respon (*Response Surface Methodology*) dengan desain eksperimen *Box-Behnken*. Tahapan yang harus dilakukan pada analisa data dan optimasi adalah sebagai berikut: [4]

Metode pengambilan data dan kombinasi level berdasarkan rancangan *Box-Behnken Design*. Alasan memakai rancangan tersebut karena jumlah eksperimen yang dilakukan lebih sedikit sehingga mempersingkat waktu eksperimen. Rancangan *Box-Behnken Design* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Desain Box-Benhken [5]

No	Injection Pressure	Cooling Time	Holding Pressure	(A) Injection Pressure (bar)	(B) Cooling Time (detik)	(C) Temperature (°C)
1	-1	-1	0	1420	255	15
2	1	-1	0	1480	255	15
3	-1	1	0	1420	265	15
4	1	1	0	1480	265	15
5	-1	0	-1	1420	260	13
6	1	0	-1	1480	260	13
7	-1	0	1	1420	260	17
8	1	0	1	1480	260	17
9	0	-1	-1	1450	255	13
10	0	1	-1	1450	265	13
11	0	-1	1	1450	255	17
12	0	1	1	1450	265	17
13	0	0	0	1450	260	15
14	0	0	0	1450	260	15
15	0	0	0	1450	260	15

b. Pembentukan model

Pembentukan model ini adalah pembentukan model yang menyatakan hubungan variabel proses dengan variabel respon yang dibentuk dari nilai koefisien penduga model regresi (model percobaan orde dua). Persamaan penduga untuk model regresi adalah sebagai berikut:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3$$

c. Pengujian model.

Pengujian dilakukan dengan pengujian asumsi klasik IIDN (0, a²). Pengujian tersebut antara lain uji identik, uji distribusi normal, dan uji multikolinieritas. Setelah dilakukan pengujian asumsi klasik dilakukan pengujian kesesuaian model. Pengujian yang dilakukan yaitu antara lain uji determinasi (R²), uji *lack of fit*, uji parameter serentak dan uji parsial [6].

HASIL DAN PEMBAHASAN
Data Hasil Penelitian

Tabel 2. Data hasil penelitian

Exp	Level			Parameter			Hasil		
	X1	X2	X3	Inject Pressure (bar)	Temperature (°C)	Cooling Time (detik)	Cycle Time (detik)	Netto (gram)	persentas e reject (%)
1	-1	-1	0	1420	255	15	28,8617	33,5079	19,05
2	1	-1	0	1480	255	15	28,8550	33,5856	16,67
3	-1	1	0	1420	265	15	28,8383	33,6458	14,29
4	1	1	0	1480	265	15	28,8167	33,6378	26,19
5	-1	0	-1	1420	260	13	28,8350	33,5133	9,52
6	1	0	-1	1480	260	13	28,8183	33,4610	16,67
7	-1	0	1	1420	260	17	30,8233	33,5293	11,90
8	1	0	1	1480	260	17	30,8267	33,5023	9,52
9	0	-1	-1	1450	255	13	28,8450	33,5749	19,05
10	0	1	-1	1450	265	13	28,8083	33,4396	14,29
11	0	-1	1	1450	255	17	30,8383	33,5829	21,43
12	0	1	1	1450	265	17	30,8117	33,6002	30,95
13	0	0	0	1450	260	15	28,8350	33,6418	11,90
14	0	0	0	1450	260	15	28,8150	33,6070	9,52
15	0	0	0	1450	260	15	28,8083	33,4972	11,90

Analisa data Cycle Time

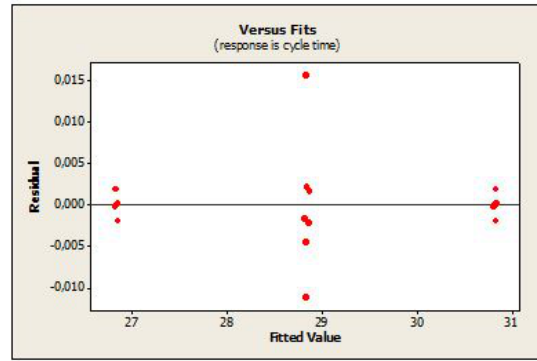
Langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisis data *cycle time* yaitu dengan melakukan pembentukan model, pengujian kesesuaian model dan pengujian residual.

1. Pengujian residual

Pengujian residual dilakukan untuk mengetahui apakah residual memenuhi asumsi *normally and independently distributed*. Pengujian residual terdiri dari uji identik dan uji distribusi normal. Berikut ini adalah pengujian yang dilakukan terhadap residual.

a. Uji Identik

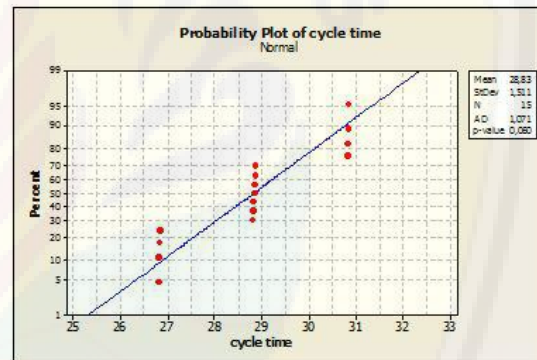
Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa *plot residual versus fitted values* untuk residualnya tersebar secara acak di sekitar harga nol dan tidak membentuk pola tertentu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi bersifat identik terpenuhi.



Gambar 1. Versus fit untuk cycle time

b. Uji Distribusi Normal

Melalui grafik *probability plot of residual* untuk asumsi distribusi normal diperoleh *P value* lebih dari 0,05 yaitu 0,060, sehingga diputuskan untuk gagal menolak H₀ yang berarti residual berdistribusi normal, selain itu dapat dilihat dari sebaran titik-titik pada plot tersebut membentuk pola linier atau garis lurus, sehingga disimpulkan bahwa residual data memenuhi asumsi distribusi normal.



Gambar 2. Probability plot of residual

2. Pembentukan model

Pengolahan data menggunakan minitab menghasilkan sebuah nilai koefisien penduga. Nilai koefisien penduga tersebut kemudian dimasukkan ke dalam persamaan penduga untuk model orde kedua. Nilai koefisien penduga model regresi *cycle time* dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 3. Koefisien penduga untuk cycle time

Estimated Regression Coefficients for cycle time				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	28,8194	0,005251	5487,959	0,000
X1	-0,0052	0,003216	-1,620	0,166
X2	-0,0156	0,003216	-4,859	0,005
X3	1,9992	0,003216	621,668	0,000
X1*X1	0,0117	0,004734	2,479	0,056
X2*X2	0,0117	0,004734	2,479	0,056
X3*X3	-0,0053	0,004734	-1,130	0,310
X1*X2	-0,0037	0,004548	-0,825	0,447
X1*X3	0,0050	0,004548	1,099	0,322
X2*X3	0,0025	0,004548	0,550	0,606
s = 0,00909568 PRESS = 0,00132222				
R-Sq = 100,00% R-Sq(pred) = 100,00% R-Sq(adj) = 100,00%				

Tabel 3 menyajikan hasil taksiran parameter model untuk *cycle time*. Berdasarkan Tabel 3 kemudian dibuat model persamaan *cycle time* penduga model orde kedua. Persamaan penduga untuk model orde kedua adalah:

$$Y_{\text{cycle time}} = 28,8194 - 0,0052 X_1 - 0,0156 X_2 + 1,9992 X_2 + 0,0117 X_1^2 + 0,0117 X_2^2 - 0,0053 X_1^2 - 0,0037 X_1 X_2 + 0,005 X_1 X_2 + 0,0025 X_2 X_2$$

3. Pengujian Kesesuaian Model

Untuk mengetahui kesesuaian model diatas maka dilakukan pengujian sebagai berikut:

a. Uji *lack of fit*

Untuk memeriksa kesesuaian model Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai *P-value lack of fit* adalah 0,982 yang berarti lebih besar dari $\alpha = 0,05$. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa model tidak mengandung *lack of fit* atau model yang diperoleh telah sesuai [7]

Tabel 4. Analysis of variance untuk *cycle time*

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	31,9768	31,9768	3,5530	42946	0,000
Linear	3	31,9755	31,9755	10,6585	128832,49	0,000
X1	1	0,0002	0,0002	0,0002	3	0,166
X2	1	0,0020	0,0020	0,0020	24	0,005
X3	1	31,9733	31,9733	31,9733	386471	0,000
Square	3	0,0011	0,0011	0,0004	386471,25	0,000
X1*X1	1	0,0005	0,0005	0,0005	6	0,056
X2*X2	1	0,0005	0,0005	0,0005	6	0,056
X3*X3	1	0,0001	0,0001	0,0001	1	0,310
Interaction	3	0,0002	0,0002	0,0001	0,73	0,577
X1*X2	1	0,0001	0,0001	0,0001	1	0,447
X1*X3	1	0,0001	0,0001	0,0001	1	0,322
X2*X3	1	0,0000	0,0000	0,0000	0	0,606
Error	5	0,0004	0,0004	0,0001		
Lack-of-Fit	3	0,0000	0,0000	0,0000	0	0,982
Pure Error	2	0,0004	0,0004	0,0002		
Total	14	31,9772				

b. Uji Parameter Serentak

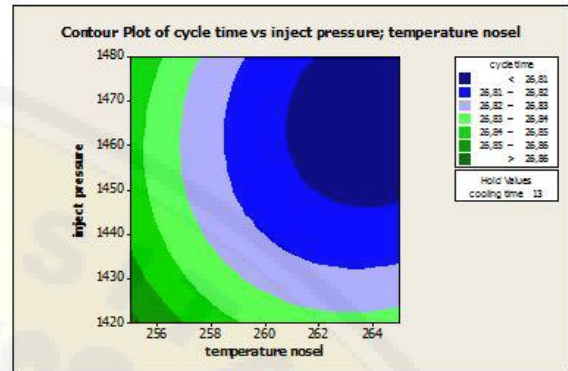
Untuk mengevaluasi *output* uji parameter serentak, analisis yang digunakan adalah analisis statistik *p-value*. Ada dua regresi yang harus diperiksa, yaitu linier (*βi*) dan kuadratik (*βii*). Pada Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai *P-value* untuk regresi linier (*linear*) dan kuadratik (*square*) adalah 0,000 dan 0,000 yang berarti lebih kecil dari $\alpha = 0,05$. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan variabel-variabel X1 dan X2 memberikan kontribusi yang nyata terhadap model yang terbentuk.

c. Pengujian Koefisien Determinasi (R^2)

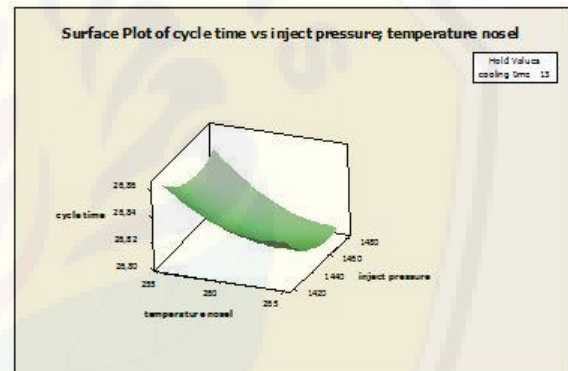
Nilai koefisien determinasi terletak antara $0 < R^2 < 1$. Semakin besar nilai R^2 maka semakin besar pula pengaruh semua variabel X terhadap variabel Y, untuk mendapatkan model yang baik maka nilai R^2 diharapkan mendekati 1. Berdasarkan Tabel 3 nilai R^2 untuk *cycle time* adalah 100 %. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa variasi dari respon tersebut dapat dijelaskan oleh model regresi yang dihasilkan.

4. Analisis *Contour* dan *Surface Plot*

Gambar 3 menampilkan bahwa *cycle time* akan tercapai jika *inject pressure* berada diantara 1420 bar sampai 1480 bar dan *temperature nozzle* berada diantara 256 °C dan 264°C sedangkan *cooling time* berada pada 13 detik. Dengan setting parameter *inject pressure* dan *temperature nosel* pada level tersebut, kita akan memperoleh *cycle time* sebesar kurang dari 26,81 detik sampai 26,86 detik.



(a)



(b)

Gambar 3. (a) Contour plot (b) Surface plot untuk *cycle time*

Analisa data Netto

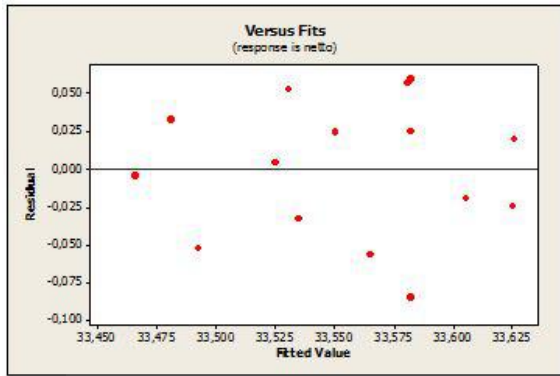
Langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisis data netto yaitu dengan melakukan pembentukan model, pengujian kesesuaian model dan pengujian residual.

1. Pengujian residual

Pengujian residual dilakukan untuk mengetahui apakah residual memenuhi asumsi *normally and independently distributed*. Pengujian residual terdiri dari uji identik dan uji distribusi normal. Berikut ini adalah pengujian yang dilakukan terhadap residual.

a. Uji Identik

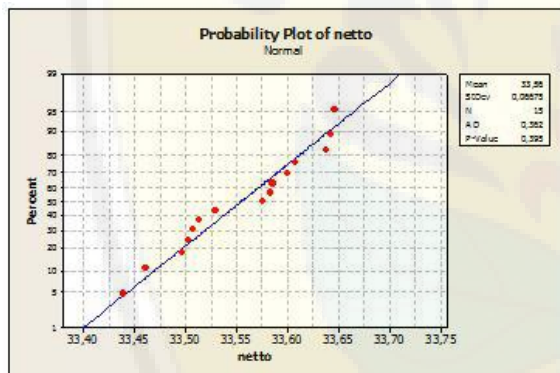
Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa *plot residual versus fitted values* untuk residualnya tersebar secara acak disekitar harga nol dan tidak membentuk pola tertentu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi bersifat identik terpenuhi.



Gambar 4. Versus fit untuk netto

b. Uji Distribusi Normal

Melalui grafik *probability plot of residual* untuk asumsi distribusi normal diperoleh *P value* lebih dari 0,05 yaitu 0,395, sehingga diputuskan untuk gagal menolak H_0 yang berarti residual berdistribusi normal, selain itu dapat dilihat dari sebaran titik-titik pada plot tersebut membentuk pola linier atau garis lurus, sehingga disimpulkan bahwa residual data memenuhi asumsi distribusi normal.



Gambar 5. Probability plot of residual

2. Pembentukan model

Pengolahan data menggunakan minitab menghasilkan sebuah nilai koefisien penduga. Nilai koefisien penduga tersebut kemudian dimasukkan ke dalam persamaan penduga untuk model orde kedua. Nilai koefisien penduga model regresi *netto* dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 5. Koefisien penduga untuk *netto*

Coefficients				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	33,5820	0,0428815	783,134	0,000
X1	-0,0012	0,0262595	-0,046	0,965
X2	0,0090	0,0262595	0,344	0,745
X3	0,0282	0,0262595	1,075	0,331
X1*X1	-0,0178	0,0386529	-0,461	0,664
X2*X2	0,0301	0,0386529	0,778	0,472
X3*X3	-0,0627	0,0386529	-1,622	0,166
X1*X2	-0,0214	0,0371365	-0,577	0,589
X1*X3	0,0063	0,0371365	0,169	0,872
X2*X3	0,0381	0,0371365	1,027	0,352
S = 0,0742730 R-Sq = 55,78% R-Sq(adj) = 0,00%				
PRESS = 0,284638 R-Sq(pred) = 0,00%				

Tabel di atas menunjukkan hasil taksiran parameter model untuk *netto*. Berdasarkan Tabel di atas kemudian dibuat model persamaan *netto* penduga model orde kedua. Persamaan penduga untuk model orde kedua adalah:

$$Y_{netto} = 33,582 - 0,00120625 X_1 + 0,00902708 X_2 + 0,0282417 X_3 - 0,0178222 X_1^2 + 0,0300861 X_2^2 - 0,0627014 X_3^2 - 0,021425 X_1 X_2 + 0,0062875 X_1 X_3 + 0,0381375 X_2 X_3$$

3. Pengujian Kesesuaian Model

Untuk mengetahui kesesuaian model diatas maka dilakukan pengujian sebagai berikut:

a. Uji *lack of fit*

Untuk memeriksa kesesuaian model Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai *P-value lack of fit* adalah 0,55045 yang berarti lebih besar dari $\alpha = 0,05$. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa model tidak mengandung *lack of fit* atau model yang diperoleh telah sesuai.

Tabel 6. Analysis of variance untuk cycle time

Analysis of Variance						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0,0347951	0,0347951	0,0038661	0,70083	0,697458
Linear	3	0,0070440	0,0070440	0,0023480	0,43	0,743
X1	1	0,0000116	0,0000116	0,0000116	0,00211	0,965140
X2	1	0,0006519	0,0006519	0,0006519	0,11817	0,745007
X3	1	0,0063807	0,0063807	0,0063807	1,15667	0,331292
Square	3	0,0199390	0,0199390	0,0066460	1,20	0,0398
X1*X1	1	0,0008961	0,0011728	0,0011728	0,21260	0,664101
X2*X2	1	0,0045264	0,0033422	0,0033422	0,60585	0,471563
X3*X3	1	0,0145162	0,0145162	0,0145162	2,63142	0,165695
Interaction	3	0,0078120	0,0078120	0,0026040	0,47	0,0715
X1*X2	1	0,0018361	0,0018361	0,0018361	0,33284	0,588990
X1*X3	1	0,0001581	0,0001581	0,0001581	0,02867	0,872191
X2*X3	1	0,0058179	0,0058179	0,0058179	1,05464	0,351534
Error	5	0,0275824	0,0275824	0,0055165		
Lack-of-Fit	3	0,0161875	0,0161875	0,0053958	0,94706	0,550406
Pure Error	2	0,0113949	0,0113949	0,0056975		
Total	14	0,0623775				

b. Uji Parameter Serentak

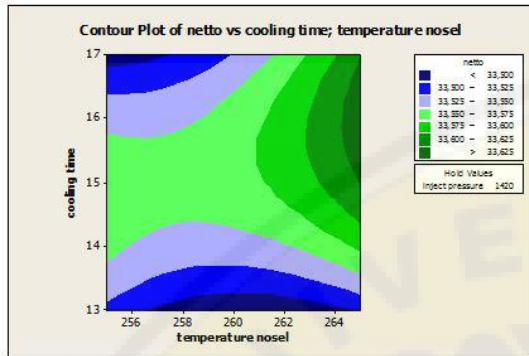
Untuk mengevaluasi *output* uji parameter serentak, analisis yang digunakan adalah analisis statistik *p-value*. Ada dua regresi yang harus diperiksa, yaitu linier (β_i) dan kuadrat (β_{ii}). Pada Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai *P-value* untuk regresi linier (*linear*) dan kuadrat (*square*) adalah 0,075 yang berarti lebih besar dari α dan 0,0398 yang berarti lebih kecil dari $\alpha = 0,05$. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa variabel X2 memberikan kontribusi yang nyata terhadap model yang terbentuk.

c. Pengujian Koefisien Determinasi (R^2)

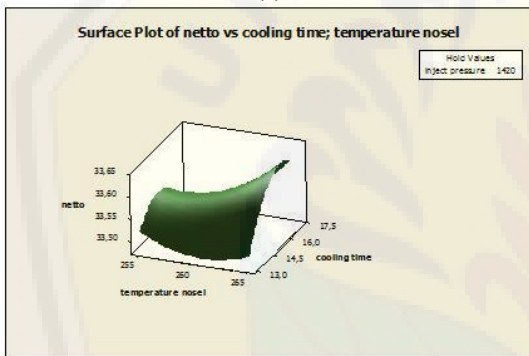
Nilai koefisien determinasi terletak antara $0 < R^2 < 1$. Semakin besar nilai R^2 maka semakin besar pula pengaruh semua variabel X terhadap variabel Y, untuk mendapatkan model yang baik maka nilai R^2 diharapkan mendekati 1. Berdasarkan Tabel 5 nilai R^2 untuk *cycle time* adalah 55,78%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa variasi dari respon tersebut dapat dijelaskan oleh model regresi yang dihasilkan.

4. Analisis *Contour* dan *Surface Plot*

Gambar 6 menampilkan bahwa *netto* akan tercapai jika *colling time* antara 13 sampai 17 dan *temperature nosel* berada diantara 256 °C dan 264°C sedangkan *inject pressure* berada pada 1420 bar. Dengan setting parameter *inject pressure* dan *temperature nosel* pada level tersebut, kita akan memperoleh *cycle time* sebesar kurang dari 33,50 gram sampai 33,625 gram.



(a)



(b)

Gambar 6. (a)Contour plot, (b)Surface plot untuk netto

Analisa data Reject

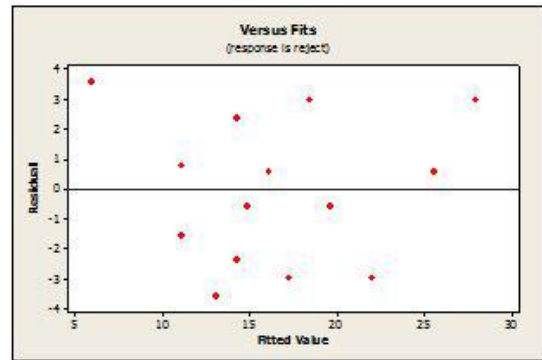
Langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisis data reject yaitu dengan melakukan pembentukan model, pengujian kesesuaian model dan pengujian residual.

1. Pengujian residual

Pengujian residual dilakukan untuk mengetahui apakah residual memenuhi asumsi *normally and independently distributed*. Pengujian residual terdiri dari uji identik dan uji distribusi normal. Berikut ini adalah pengujian yang dilakukan terhadap residual.

a. Uji Identik

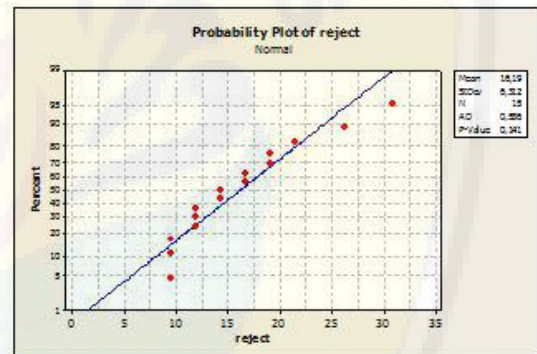
Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa *plot residual versus fitted values* untuk residualnya tersebar secara acak disekitar harga nol dan tidak membentuk pola tertentu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi bersifat identik terpenuhi.



Gambar 7. Versus fit untuk reject

b. Uji Distribusi Normal

Melalui grafik *probability plot of residual* untuk asumsi distribusi normal diperoleh P value lebih dari 0,05 yaitu 0,141, sehingga diputuskan untuk gagal menolak H0 yang berarti residual berdistribusi normal, selain itu dapat dilihat dari sebaran titik-titik pada plot tersebut membentuk pola linier atau garis lurus, sehingga disimpulkan bahwa residual data memenuhi asumsi distribusi normal.



Gambar 8. Probability plot of residual

2. Pembentukan model

Pengolahan data menggunakan minitab menghasilkan sebuah nilai koefisien penduga. Nilai koefisien penduga tersebut kemudian dimasukkan ke dalam persamaan penduga untuk model orde kedua. Nilai koefisien penduga model regresi *netto* dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 7. Koefisien penduga untuk *netto*

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	11,1111	2,27267	4,88901	0,005
X1	1,7857	1,39172	1,28310	0,256
X2	1,1905	1,39172	0,85540	0,431
X3	1,7857	1,39172	1,28310	0,256
X1*X1	-0,7937	2,04856	-0,38742	0,714
X2*X2	8,7302	2,04856	4,26161	0,008
X3*X3	1,5873	2,04856	0,77484	0,473
X1*X2	3,5714	1,96819	1,81458	0,129
X1*X3	-2,3810	1,96819	-1,20972	0,280
X2*X3	3,5714	1,96819	1,81458	0,129

S = 3,93638 R-Sq = 86,11% R-Sq(adj) = 61,11%
 PRESS = 1187,64 R-Sq(pred) = 0,00%

Tabel 7 menunjukkan hasil taksiran parameter model untuk *netto*. Berdasarkan Tabel di atas kemudian dibuat model persamaan netto penduga model orde kedua. Persamaan penduga untuk model orde kedua adalah:

$$Y_{\text{reject}} = 11,1111 + 1,7857X_1 + 1,1905X_2 + 1,7857X_3 - 0,7937X_1^2 + 8,7302X_2^2 + 1,5873X_3^2 + 3,5714X_1X_2 - 2,3810X_1X_3 + 3,5714X_2X_3$$

3. Pengujian Kesesuaian Model

Untuk mengetahui kesesuaian model diatas maka dilakukan pengujian sebagai berikut:

a. Uji *lack of fit*

Untuk memeriksa kesesuaian model Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai *P-value lack of fit* adalah 0,072 yang berarti lebih besar dari $\alpha = 0,05$. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa model tidak mengandung *lack of fit* atau model yang diperoleh telah sesuai.

Tabel 8. Analysis of variance untuk cycle time

Analysis of Variance for reject						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	480,348	480,348	53,372	3,44	0,093
Linear	3	62,358	359,283	119,761	7,73	0,025
IP	1	25,510	2,479	2,479	0,16	0,706
TN	1	11,338	346,861	346,861	22,39	0,005
Cool	1	25,510	6,499	6,499	0,42	0,546
Square	3	293,273	293,273	97,758	6,31	0,037
IP*IP	1	8,746	2,326	2,326	0,15	0,714
TN*TN	1	275,224	281,412	281,412	18,16	0,008
Cool*Cool	1	9,303	9,303	9,303	0,60	0,473
Interaction	3	124,717	124,717	41,572	2,68	0,158
IP*TN	1	51,020	51,020	51,020	3,29	0,129
IP*Cool	1	22,676	22,676	22,676	1,46	0,280
TN*Cool	1	51,020	51,020	51,020	3,29	0,129
Residual Error	5	77,475	77,475	15,495		
Lack-of-Fit	3	73,696	73,696	24,565	13,00	0,072
Pure Error	2	3,779	3,779	1,890		
Total	14	557,823				

b. Uji Parameter Serentak

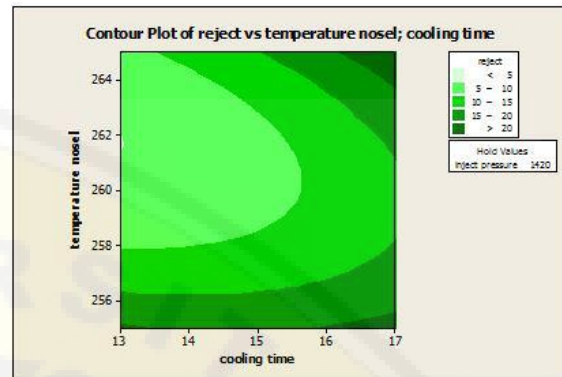
Untuk mengevaluasi *output* uji parameter serentak, analisis yang digunakan adalah analisis statistik *p-value*. Ada dua regresi yang harus diperiksa, yaitu linier (β_i) dan kuadrat (β_{ii}). Pada Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai *P-value* untuk regresi linier (*linear*) dan kuadrat (*square*) adalah 0,0025 dan 0,037 yang berarti lebih kecil dari $\alpha = 0,05$. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa variabel X2 memberikan kontribusi yang nyata terhadap model yang terbentuk.

c. Pengujian Koefisien Determinasi (R^2)

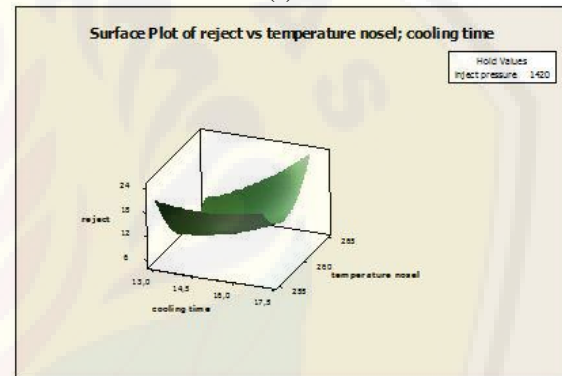
Nilai koefisien determinasi terletak antara $0 < R^2 < 1$. Semakin besar nilai R^2 maka semakin besar pula pengaruh semua variabel X terhadap variabel Y, untuk mendapatkan model yang baik maka nilai R^2 diharapkan mendekati 1. Berdasarkan Tabel 5 nilai R^2 untuk *cycle time* adalah 86,11%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa variasi dari respon tersebut dapat dijelaskan oleh model regresi yang dihasilkan.

4. Analisis Contour dan Surface Plot

Gambar 9 menampilkan bahwa *netto* akan tercapai jika *cooling time* berada antara 13 sampai 17 detik dan *temperature nozzle* berada diantara 256 °C dan 264°C sedangkan *inject pressure* berada pada 1420 bar. Dengan setting parameter *inject pressure* dan *temperature nozzle* pada level tersebut, kita akan memperoleh *cycle time* sebesar kurang dari 5% sampai 20%.



(a)



(b)

Gambar 9. (a)Contour plot, (b)Surface plot untuk reject

Optimasi Respon

Untuk mencari kombinasi level-level variabel proses yang dapat menghasilkan respon yang optimum (target, minimum, dan maksimum) maka digunakan metode permukaan respon dengan pendekatan fungsi *desirability*, karena fungsi *desirability* merupakan sebuah fungsi yang diperoleh dengan menggabungkan beberapa persamaan model sehingga diperoleh nilai respon yang diinginkan. Pendekatan fungsi *desirability* ini digunakan untuk mencari nilai kombinasi variabel proses *inject pressure*, *temperature nozzle*, dan *cooling time* agar mendapatkan *cycle time*, *netto* dan *presentase reject* yang optimum (minimum), namun spesifikasi produk sesuai dengan yang telah ditentukan perusahaan. Persamaan yang diperoleh dari permodelan adalah sebagai berikut :

$$Y_{\text{cycle time}} = 28.8194 - 0.0052 X_1 - 0.0156 X_2 + 1.9992 X_3 + 0.0117 X_1^2 + 0.0117 X_2^2 - 0.0053 X_3^2 - 0.0037 X_1 X_2 + 0.005 X_1 X_3 + 0.0025 X_2 X_3$$

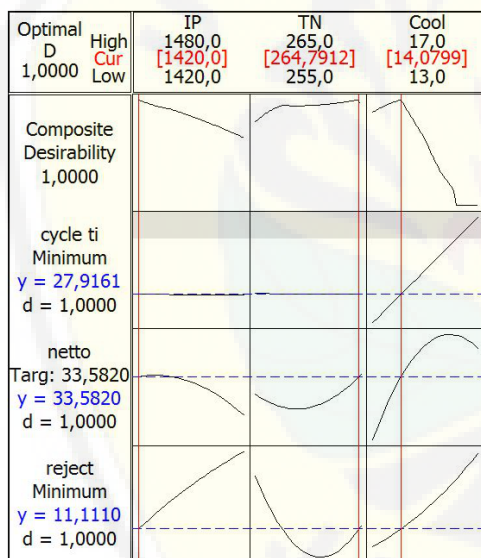
$$Y_{\text{netto}} = 33.582 - 0.00120625 X_1 + 0.00902708 X_2 + 0.0282417 X_3 - 0.0178222 X_1^2 + 0.0300861 X_2^2 - 0.0627014 X_3^2 - 0.021425 X_1 X_2 + 0.0062875 X_1 X_3 + 0.0381375 X_2 X_3$$

$$Y_{\text{reject}} = 11.1111 + 1.7857 X_1 + 1.1905 X_2 + 1.7857 X_3 - 0.7937 X_1^2 + 8.7302 X_2^2 + 1.5873 X_3^2 + 3.5714 X_1 X_2 - 2.3810 X_1 X_3 + 3.5714 X_2 X_3$$

Dengan respon yang diinginkan adalah sebagai berikut :

- Yct = cycle time, dengan spesifikasi ≤ 30
- Ynetto = berat netto, dengan spesifikasi 33,430 ≤ 33,625
- Yreject = presentase reject, dengan spesifikasi ≤ 22

Model matematika diatas diselesaikan menggunakan perangkat lunak minitab versi 16. Gambar 10 menunjukkan kombinasi dari variabel proses yang menghasilkan respon cycle time, netto dan volume yang optimum. Berikut ini adalah kombinasi nilai variabel proses yang menghasilkan respon optimal.



Gambar 10. Optimasi

KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengolahan data menggunakan minitab 16 variabel proses yang berpengaruh terhadap waktu siklus produksi produk tutup botol 500 ml adalah *cooling time*. Sedangkan variabel *inject pressure* dan *temperature nozzle* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap waktu siklus produksi botol 500 ml.
2. Berdasarkan perhitungan menggunakan minitab 16 variabel proses yang berpengaruh terhadap *netto* produk tutup botol 500 ml adalah *inject pressure*, *temperature nozzle*, dan *stop time*.

Secara individu variabel proses yang paling berpengaruh adalah *inject pressure*

3. Berdasarkan perhitungan menggunakan minitab 16 variabel proses yang berpengaruh terhadap *presentase reject* produk tutup botol 500 ml adalah *inject pressure*, *temperature nozzle*, dan *cooling time*. Secara individu variabel proses yang paling berpengaruh adalah *inject pressure* dan *cooling time*.
4. Keadaan optimum dihasilkan pada kondisi *inject pressure* sebesar 1420 bar; *temperature nozzle* sebesar 264,7912 °C; dan *cooling time* 14,08 detik. Pada keadaan ini produksi dapat naik sebesar 10,836%. Dari keadaan optimum tersebut *cycle time* yang dihasilkan yaitu 27,9161 detik, *netto* yang dihasilkan sesuai dengan standar yaitu 33,5820 gram dan *presentase reject* yang dihasilkan yaitu 11,11%.
5. Dengan *cycle time* 27,9161 detik dengan *netto* sesuai standar dan *presentase reject* yang menurun 1,89%, produk yang dihasilkan berjumlah ± 10.031 pershift atau naik sekitar 8,836 %. Jumlah tersebut berdasarkan jumlah produk yang dihasilkan pada *cycle time* sebelumnya yaitu 30 detik yang menghasilkan produk ± 9216 pershift.

SARAN

Setelah melakukan penelitian, saran yang dapat penulis sampaikan adalah sebagai berikut:

1. Perusahaan diharapkan menggunakan setting hasil penelitian ini, dikarenakan optimasi produksi akan meningkat dengan kualitas produk yang tetap terjaga, bahkan lebih baik.
2. Penelitian ini dapat dilanjutkan untuk keperluan akademik.
3. Variabel proses pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat lebih beragam dengan level yang lebih banyak agar didapatkan pendekatan optimasi yang semakin sempurna

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Moerbani, J. 1999. *Plastic Moulding*. Diktat Kuliah, Akademi Teknik Mesin Industri. Surakarta.
- [2] Abdurokhman, M. 2012. "Analisis Konsumsi Energi Pada Proses *Injektion Moulding* untuk Efisiensi Energi". Tidak Diterbitkan. Skripsi. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- [3] Nicolaus, D. 2017. "Analisis Parameter *injection moulding* terhadap Waktu Siklus Produk Kemasan Sarung Menggunakan Metode Taguchi". Skripsi. Jember: Teknik Mesin Universitas Jember
- [4] Montgomery, Douglas. C. 1997. *Design and Analysis of Experiments*. 5th Australia : John Wiley & Sons Inc

[5] Kristiyantoro, Tatag. 2009. Optimasi Waktu Siklus Pembuatan Kemasan Produk Chamomile 120 ml dengan Proses *Blow Molding*. Jember : Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember

[6] Sudjana. 1994. *Desain dan Analisis Eksperimen*. Edisi III. Bandung :Tarsito

[7] Iriawan, Nur. 2006. *Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*, Yogyakarta : Andi Yogyakarta

