

# Analisa Pengaruh Parameter Tekanan dan Waktu Penekanan Terhadap Sifat Mekanik dan Cacat Penyusutan dari Produk Injection Molding Berbahan Polyethylene (PE)

Erwin<sup>1)\*</sup>, Slamet Wiyono<sup>1)</sup> Sendi Dwi Oktaviandi<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa , Cilegon-Indonesia  
erwin@ft-untirta.ac.id

## Abstrak

Injection molding adalah salah satu operasi yang paling umum dan serba guna untuk produksi massal pada komponen plastik yang kompleks dengan toleransi dimensional yang sempurna. Pada proses injection molding, parameter waktu dan penekanan merupakan salah satu parameter penting yang harus diperhatikan untuk keberhasilan proses produksi melalui injection molding. Metode yang digunakan adalah menggunakan response surface methodology . metode ini merupakan suatu proses perencanaan percobaan untuk memperoleh data yang tepat sehingga dapat dianalisa dengan metode statistik serta kesimpulan yang diperoleh dapat bersifat objektif dan valid. Dari hasil penelitian didapat kesimpulan bahwa Parameter tekanan dan waktu penekanan hanya memberi pengaruh terhadap sifat mekanik flexural strength dan flexural modulus spesimen. Dari segi nilai properties yang dihasilkan spesimen no.4 yang memiliki nilai properties terbaik. Dan dari data output analisis shrinkage dengan menggunakan RSM didapat kesimpulan bahwa kedua parameter proses tersebut mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap terjadinya shrinkage. Dari hasil optimasi menggunakan fitur response surface optimizer didapat hasil setting parameter optimal adalah waktu penekanan: 1,6898 (s), tekanan: 78,2290 (bar).

**Kata kunci:** Injection molding, shrinkage, pressure, injection time, response surface methodology

## Abstract

Injection molding is one of the common and multipurpose operation for mass production in complex plastic component with a perfect dimensional tolerances. Process of injection molding, pressure and injection time is one of the most important parameter that must be considered for the succesful process through injection molding. Response surface methodology is the method that used in this process. This method is experiment planning process for obtain the real data which can be analyzed with statistic method and an objective and valid conclusion. From the findings and result of the research, we can concluded that pressure and injection time only influenced the mechanic characteristic of flexural strength and flexural modulus specimen. In term of properties value which is the result from the specimen no.4 who has the best properties value. The output of shrinkage analysis with used RSM, we can concluded that both of the parameter process have a significance of the shrinkage. The result of optimization with Response Surface Optimizer we can see that optimal parameter setting are injection time: 1,6898 (s), pressure: 78,2290 (bar).

**Keyword:** Injection molding, shrinkage, pressure, injection time, response surface methodology

## 1. LATAR BELAKANG

Injection molding adalah salah satu operasi yang paling umum dan serba guna untuk produksi massal pada komponen plastik yang kompleks dengan toleransi dimensional yang sempurna. Hal ini dikarenakan pada proses ini hanya memerlukan operasi minimal tanpa finishing. Injection molding merupakan suatu daur proses pembentukan plastik kedalam bentuk yang diinginkan dengan cara menekan plastik cair kedalam sebuah ruang (cavity).

Pada proses injection molding, dengan pengaturan parameter penekanan yang tepat dapat meningkatkan kualitas produk dan menghemat biaya produksi. Hal ini dikarenakan parameter proses penekanan (tekanan dan waktu penekanan) yang pada umumnya dilakukan oleh sistem hidrolik merupakan salah satu parameter penting yang harus diperhatikan untuk keberhasilan proses produksi melalui injection molding.

Rumusan permasalahannya adalah membuktikan dan mengidentifikasi bahwa kualitas produk akhir dan sifat mekanik dari produk injection molding berbahan polietilen sangat terpengaruh oleh setting tekanan dan waktu penekanannya.

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah:

- Mengidentifikasi pengaruh tekanan dan waktu penekanan terhadap sifat mekanik dari setiap spesimen.
- Menyelidiki dan meneliti kemungkinan cacat yang terjadi akibat variasi tekanan dan waktu penekanan terhadap spesimen.
- Meneliti apakah setting variabel yang biasa dipakai adalah setting variabel terbaik.
- Meneliti bagaimana model hubungan parameter injection molding terhadap variabel respon dengan menggunakan metode response surface.

\* Penulis korespondensi, HP: 082182535758  
E-mail : erwin@ft-untirta.ac.id

**2. PROSEDUR EKSPERIMEN**  
**2.1. Experimental Procedures**



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penentuan Nilai Parameter Proses

**Waktu Penekanan**

Pada parameter ini level yang digunakan untuk penelitian ini adalah:

- Level Low : 1,25s
- Level Medium : 1,50s
- Level High : 1,75s

**Tekanan**

Tekanan yang digunakan adalah tekanan yang relatif tinggi untuk kategori micro molding process. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan beberapa level dari tekanan yaitu sebagai berikut:

- Level Low : 60bar
- Level Medium : 70bar
- Level High : 80bar

Tabel 1. Desain factorial

Spesimen	Faktor	
	Waktu penekanan	Tekanan
1	1	-1
2	1	1
3	-1	-1
4	1	1
5	0	0
6	1	-1
7	-1	1
8	-1	1
9	-1	-1

Tabel 2. Variasi Parameter

Spesimen no.	Pressure (bars)	Injection Time (s)
1	60	1,25
2	70	1,50
3	80	1,75
4	60	1,75
5	70	1,25
6	80	1,50
7	60	1,50
8	70	1,75
9	80	1,25



Gambar 2. Bentuk Spesimen

Pengujian sifat mekanik yang dilakukan adalah:

- Uji Tarik (ASTM D638 type IV)
- Uji Tekan (ASTM D695)
- Uji Lentur (ASTM D6272)

### 3. HASIL DAN PENGOLAHAN DATA

Shrinkage hanya terjadi pada 2 spesimen yaitu pada spesimen no 1 adalah 5,95%, pada spesimen no.5 adalah 0,96%. Uji lentur dengan ASTM D6272 ditunjukkan pada tabel 3.



Gambar 3. Spesimen no.1



Gambar 4. Spesimen no.5

Tabel 3. Anova uji lentur

Analysis of Variance for Flexural Strength						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	4	0,60100	0,60100	0,150250	0,31	0,037
Linear	2	0,17060	0,17060	0,085300	0,28	0,076
Square	1	0,42320	0,42320	0,423200	1,41	0,030
Interaction	1	0,00720	0,00720	0,007200	0,02	0,038
Residual Error	4	1,20460	1,20460	0,301150		
Total Error	4	1,20460	1,20460	0,301150		
Total	8	1,80560				

Berdasarkan output di atas model regresi dengan bentuk linear, kuadratik, interaksi dan serentak sesuai atau signifikan pada data uji lentur ASTM D6272. Hal ini dapat dilihat dari semua nilai p\_value pada masing-masing bentuk model regresi yang lebih besar dari nilai  $\alpha$  sebesar 0,05. Dengan demikian dapat disimpulkan model tersebut sesuai untuk menggambarkan data pada uji lentur ASTM D6272.

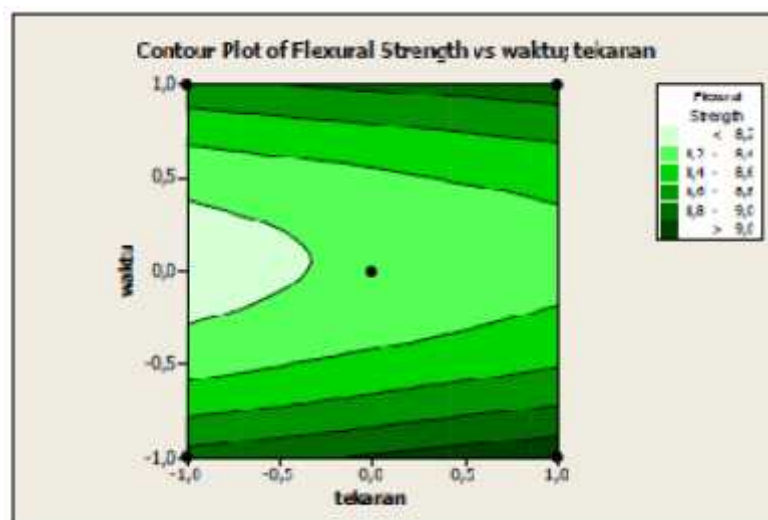
Tabel 4. Koefisien regresi flextural strength

Estimated Regression Coefficients for Flexural Strength				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	8,24000	0,5488	15,015	0,000
waktu	-0,09000	0,1940	-0,464	0,036
tekanan	0,11500	0,1940	0,593	0,048
waktu*waktu	0,69000	0,5821	1,185	0,030
waktu*tekanan	-0,03000	0,1940	-0,155	0,038

S = 0,5488    R-Sq = 95,3%    R-Sq(adj) = 0,0%

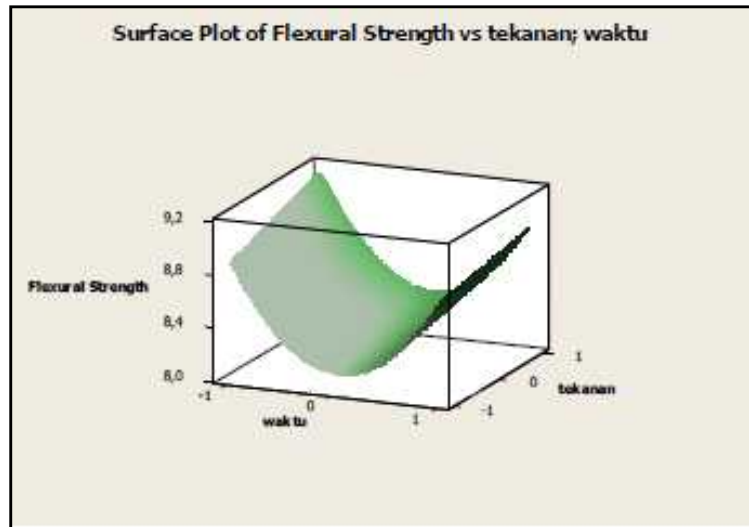
Output di atas merupakan hasil pengujian parsial tiap-tiap parameter pada model regresi awal. Berdasarkan output diatas terlihat hampir semua nilai p\_value pada parameter yang ada memiliki nilai yang lebih kecil dari tingkat  $\alpha$ . Hal ini berarti bahwa masing-masing parameter signifikan berpengaruh pada variabel proses. Dari tabel pendugaan model orde kedua untuk flexural strength terhadap variabel proses dapat diketahui bahwa besarnya variasi respon yang dapat dijelaskan oleh pendugaan model ini mencapai 95,6% lebih besar dari taraf signifikansi 95% dan dapat dinyatakan bahwa model orde dua tersebut telah sesuai. Sedangkan model orde kedua untuk flexural strength yang dihasilkan ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$Y = 8,24 + 0,09 X_1 + 0,115X_2 - 0,69 X_1^2 - 0,03 X_1X_2.$$



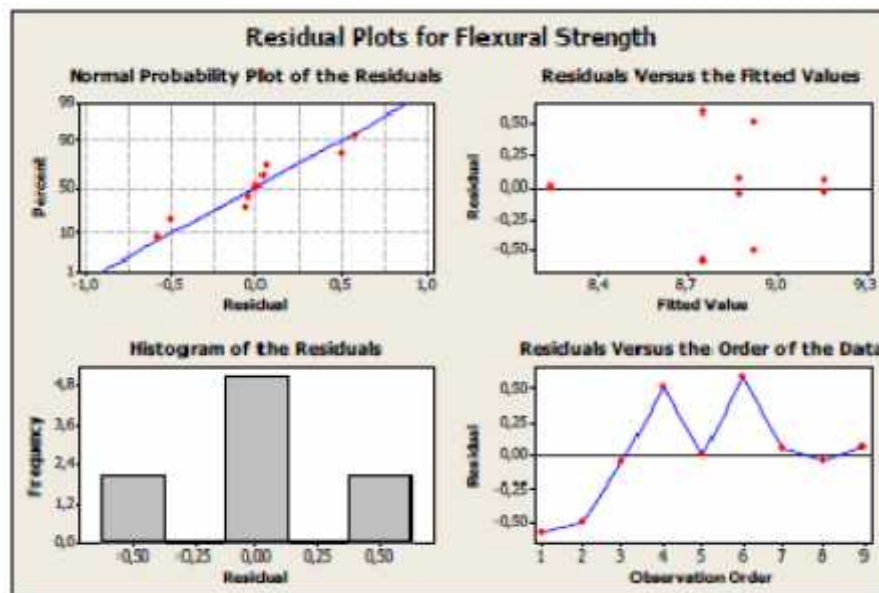
Gambar 5. Plot kontur untuk flextural strength

Pada plot kontur diatas menjelaskan bahwa respon semakin baik apa bila berada pada level 0 untuk parameter waktu dan level 0 untuk parameter tekanan. Nilai optimum flextural strength akan berada pada daerah 8.2 - 8.4.



Gambar 6. Surface plot untuk flextural strength vs parameter

Pada surface plot diatas menjelaskan variabel dependen yaitu waktu dan tekanan yang mengoptimalkan respon pada daerah mendekati 0.



Gambar 7. Residual plot felxtural strength

Berdasarkan grafik normal probability plot di atas data menyebar disekitar garis, hal ini dapat berarti bahwa data mengikuti distribusi normal. Dengan demikian data telah lolos uji salah satu asumsi yaitu asumsi normalitas. Grafik normal probability plot di atas juga menunjukkan data menyebar disekitar garis 0 dan tidak membentuk pola tertentu, hal ini dapat berarti bahwa data memiliki variansi yang sama. Dengan demikian data telah lolos uji salah satu asumsi yaitu asumsi homogenitas.

### 3.1. Flextural Modulus

Tabel 5 merupakan tabel ANOVA untuk Model Orde kedua menggunakan data yang telah dikode. Berdasarkan *output* di table 5, model regresi dengan bentuk linear, kuadratik, interaksi dan serentak sesuai atau signifikan pada data uji lentur ASTM D6272. Hal ini dapat dilihat dari semua nilai *p\_value* pada masing-masing bentuk model regresi yang lebih besar dari nilai  $\alpha$  sebesar 0,05. Dengan demikian dapat disimpulkan model tersebut sesuai untuk menggambarkan data pada uji lentur ASTM D6272

Tabel 5. ANOVA flextural modulus

Analysis of Variance for Flexural Modulus						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	4	8103,4	8103,35	2025,84	1,00	0,050
Linear	2	2289,6	2289,65	1144,92	0,56	0,046
Square	1	5331,7	5331,66	5331,66	2,63	0,018
Interaction	1	482,1	482,05	482,05	0,24	0,042
Residual Error	4	8122,7	8122,73	2030,68		
Pure Error	4	8122,7	8122,73	2030,68		
Total	8	16226,1				

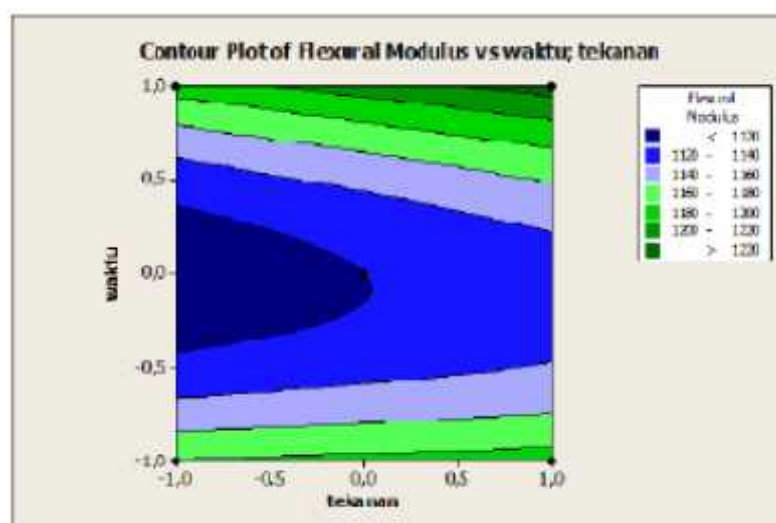
Tabel 6. Koefisien regresi flextural modulus

Estimated Regression Coefficients for Flexural Modulus				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1120,02	45,06	24,854	0,000
waktu	12,00	15,93	0,753	0,049
tekanan	11,93	15,93	0,748	0,049
waktu*waktu	77,45	47,80	1,620	0,018
waktu*tekanan	7,76	15,93	0,407	0,045

S = 45,06    R-Sq = 96,9%    R-Sq (adj) = 0,0%

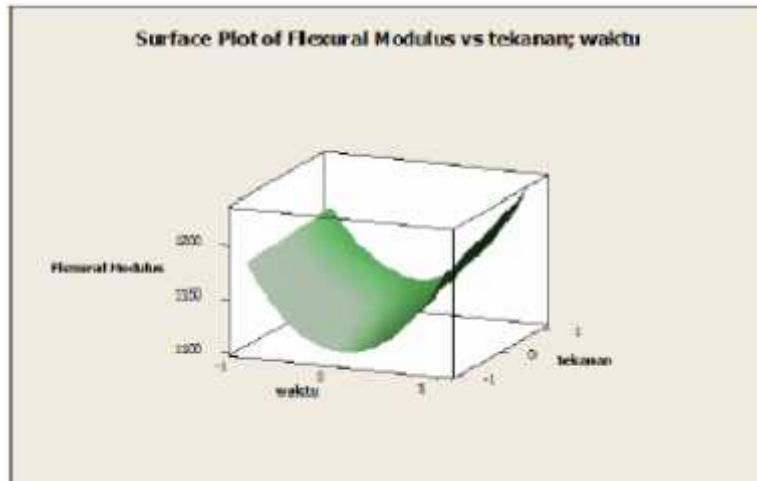
Berdasarkan *output* di tabel 6 terlihat hampir semua nilai *p\_value* pada parameter yang ada memiliki nilai yang lebih kecil dari tingkat  $\alpha$  (0,05), Hal ini berarti bahwa masing-masing parameter signifikan berpengaruh pada variabel proses. Dari tabel pendugaan model orde kedua untuk *flexural modulus* terhadap variabel proses dapat diketahui bahwa besarnya variasi respon yang dapat dijelaskan oleh pendugaan model ini mencapai 96,9% lebih besar dari taraf signifikansi 95% dan dapat dinyatakan bahwa model orde dua tersebut telah sesuai. Sedangkan model orde kedua untuk *flexural modulus* yang dihasilkan ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$Y = 1120,02 + 12 X_1 + 11,39 X_2 + 77,45 X_1^2 + 7,76 X_1 X_2$$



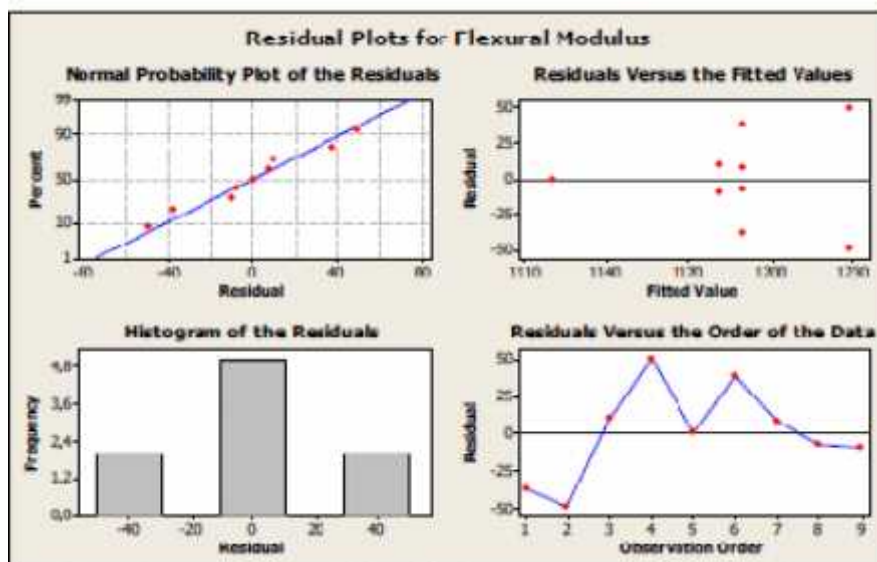
Gambar 8. Plot kontur flextural modulus vs parameter

Pada *contour plot* diatas menjelaskan bahwa respon semakin baik apa bila berada pada *level* 0 untuk parameter waktu dan *level* 0 untuk parameter tekanan. Nilai optimum *flexural modulus* akan berada pada daerah kurang dari 1120.



Gambar 10. Surface plot flextural modulus vs parameter

Pada *surface plot* diatas menjelaskan variabel dependen yaitu waktu dan kecepatan yang mengoptimalkan respon pada daerah mendekati 0.



Gambar 11. Residual plot vs flextural modulus

Berdasarkan grafik *normal probability plot* di atas data menyebar disekitar garis, hal ini dapat berarti bahwa data mengikuti distribusi normal. Dengan demikian data telah lolos uji salah satu asumsi yaitu asumsi normalitas. Grafik *normal probability plot* di atas juga menunjukkan data menyebar disekitar garis 0 dan tidak membentuk pola tertentu, hal ini dapat berarti bahwa data memiliki variansi yang sama. Dengan demikian data telah lolos uji salah satu asumsi yaitu asumsi homogenitas.

### 3.2. Analisa shrinkage

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui hubungan parameter waktu dan kecepatan penekanan terhadap shrinkage. Pengujian dilakukan dengan pendugaan model yang mana dengan menggunakan bentuk orde kedua. Analisa hasil pendugaan orde kedua dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7. ANOVA shringkage

Analysis of Variance for shrinkage						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0,204778	0,204778	0,040956	5,82	0,089
Linear	2	0,085133	0,085133	0,042567	6,05	0,049
Square	2	0,062044	0,062044	0,031022	4,41	0,028
Interactions	1	0,057600	0,057600	0,057600	8,19	0,012
Residual Error	3	0,021111	0,021111	0,007037		
Pure Error	4	0,081227	0,081227	0,010306		
Lack-of-fit	3	1,6572	2,6572	0,088579	1,45	0,044
Total	10	16226,1				

Tabel 8. Koefisien regresi shrinkage

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	61,02	0,4506	24,854	0,000
waktu	0,0358	0,1592	0,752	0,091
tekanan	0,7348	0,0321	0,748	0,059
waktu*waktu	0,8436	0,0478	1,620	0,018
waktu*tekanan	0,8745	1,5931	0,487	0,045
S = 45,06    R-Sq = 97,14    R-Sq (adj) = 0,04				

Dari Tabel ANOVA dapat disimpulkan bahwa kedua parameter proses yakni waktu dan tekanan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap terjadinya *shrinkage*. Dari untuk pengujian *lack of fit* nilai *p-value* yang dihasilkan adalah 0,044 lebih kecil nilai *p-value* (0,05) yang berarti model orde kedua telah sesuai. Selain itu juga didapat nilai R untuk *shrinkage* adalah 97,1%, menunjukkan bahwa 97,1% variasi dari respon tersebut dapat dijelaskan oleh model regresi yang dihasilkan. Sedangkan model orde kedua untuk *shrinkage* yang dihasilkan ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$Y = 61,02 + 0,0358 X_1 + 0,7348 X_2 + 0,8436 X_1^2 + 0,8745 X_1 X_2$$

#### 4. SIMPULAN

Parameter waktu dan kecepatan penekanan hanya memberi pengaruh terhadap sifat mekanik *flexural strength* dan *flexural modulus* spesimen. Hal ini diketahui dengan menggunakan *response surface methodology output* yang dihasilkan menunjukkan nilai signifikansi > 95% yaitu 95,3% dan 96,9%,

Seting variabel yang biasa dipakai untuk proses produksi *ice cream cup* (spesimen no.2) ternyata dari sisi nilai *properties* bukan merupakan seting variabel terbaik dikarenakan dari hasil pengujian-pengujian yang dilakukan, specimen no.2 belum mendapat nilai *properties* yang terbaik. Dan untuk seting variabel yang terbaik adalah pada specimen no.4, itu dikarenakan specimen ini selalu menunjukkan hasil terbaik setiap pengujian.

Cacat *shrinkage* yang terjadi adalah jenis *post shrinkage* hal ini dikarenakan penyusutan terjadi setelah plastik disimpan dan mengalami *physical aging* dan rekristalisasi. Presentase *shrinkage* yang terjadi adalah sebagai berikut:

Tabel 9. Parameter spesimen yg mengalami shrinkage

Spesimen no.	Waktu penekanan (sa)	Tekanan (s)	Shrinkage (%)
1	60	1,25	5,95%
5	70	1,25	0,96%

Dari data *output* analisis *shrinkage* dengan menggunakan RSM didapat kesimpulan bahwa bahwa kedua parameter proses yakni waktu dan kecepatan penekanan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap terjadinya *shrinkage*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Firdaus dan Soehono Tjitro, **Studi Eksperimental Pengaruh Paramater Proses Pencetakan Bahan Plastik Terhadap Cacat Penyusutan (Shrinkage) Pada Benda Cetak Pneumatics**, Jurnal Teknik Mesin Vol.4 No.2, Surabaya, 2002 .
- [2] Toto Rusianto, Ellyawan, S.A. dan Arif Rahmanto, **Shrinkage pada Plastik Bushing dengan Variabel Temperatur Injeksi Plastik** , Jurnal Kompetensi Teknik, Yogyakarta, 2010
- [3] George E. P. Box dan Norman R Draper., **Response Surfaces, Mixtures, and Ridge Analyses** ,First edition, Wiley, Wiconsin,. 2007
- [4] Donald E. Hudgin, Manas Chanda dan Salil K. Roy., Box dan Norman R Draper., **Plastic Technology Handbook**, CRC Press, New York, 2006.
- [5] Bondan T. Sofyan., **Pengantar Material Teknik Plastik**, Penerbit Salemba Teknika, Jakarta, 2010.