

## Penentuan Parameter *Setting* Mesin Pada Proses *Corrugating*

Sylvia Ongkowijoyo<sup>1</sup>, Ig. Jaka Mulyana<sup>2</sup>, Julius Mulyono<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Jalan Kalijudan 37 Surabaya  
Email : jmulyono@ukwms.ac.id

### Abstract

*Corrugating process is the process in making carton box which is merging the top sheet of kraft paper (top liner), wave paper (paper medium) and kraft paper bottom (bottom liner) using glue. Output of corrugating process is corrugated sheet. The parameter of quality corrugated sheet is bursting strength. In the corrugating process, the value of bursting strength is influenced two factors: the speed and temperature of corrugator. In this study, we discuss the experiment to determine level of corrugator speed and temperature that can produce the maximum bursting strength. Response Surface Methodology (RSM) is used to design of experiment and analysis. RSM able to identify points outside the experimental area (order model I) and determine the point of maximum response with the method of steepest ascent, and may explain the relationship of quantitative independent variable responses (order model II). The result of this study is that optimum levels engine speed is 178 m / min and level temperature of 174.9 ° C. The optimum level of value response bursting strength of 13.8 kgf /mm<sup>2</sup>.*

**Keywords:** *bursting strength, RSM*

### 1. Pendahuluan

Proses produksi sebuah *carton box* dimulai dari proses *corrugating*. Proses *corrugating* adalah proses penggabungan lembar kertas *kraft* bagian atas (*top liner*), kertas gelombang (kertas *medium*) dan kertas *kraft* bagian bawah (*bottom liner*) dengan menggunakan lem. Output dari proses *corrugating* adalah *corrugated sheet*. Setelah melalui proses *corrugating*, *corrugated sheet* langsung dibawa ke mesin flexo untuk proses konverting. Proses konverting mencakup proses *printing*, pembentukan *creasing* dan pemotongan sesuai dengan permintaan konsumen. Setelah melalui proses konverting dilakukan penyambungan tepi-tepi *sheet* atau proses *joint*. Proses *joint* dapat dilakukan dengan dua macam cara yaitu pengeleman atau *stitching*. *Carton box* yang sudah melalui proses *joint* langsung dibawa ke mesin *strapping* untuk di ikat. *Carton box* yang sudah diikat dapat langsung dikirim ke konsumen atau diletakkan digudang.

Masalah yang sering terjadi adalah output yang dihasilkan proses *corrugating* tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Parameter yang digunakan untuk mengetahui cacat tidaknya *corrugated sheet* adalah nilai *bursting strength*. *Bursting Strength* merupakan ketahanan retak atau kekuatan maksimal yang bisa diberikan pada selembur *corrugated sheet* sampai *corrugated sheet* tersebut retak atau pecah. Oleh karena itu, ditentukan kondisi optimum nilai *bursting strength* yang dipengaruhi oleh dua faktor yaitu kecepatan mesin dan suhu mesin.

*Response Surface Methodology* (RSM) atau metode permukaan respon adalah sekumpulan metode-metode matematika dan statistika yang digunakan dalam pemodelan dan analisis [6]. RSM bertujuan untuk melihat pengaruh beberapa variabel kuantitatif terhadap suatu variabel respon dan untuk mengoptimalkan variabel respon tersebut. *Response Surface Methodology* (RSM) mampu mengidentifikasi titik-titik di luar daerah percobaan (model orde I) dan menentukan titik dari respon maksimum dengan metode *steepest ascent* serta dapat menjelaskan hubungan variabel bebas kuantitatif terhadap respon (model orde II). RSM juga dapat menjelaskan hubungan variabel terhadap respon secara visual yaitu dengan *contour plot*

dan *surface plot*. Dalam RMS, replikasi hanya dilakukan pada titik pusat (*center point*) sehingga jumlah percobaan menjadi lebih sedikit. Metode RSM telah banyak dipakai untuk menentukan parameter optimal baik dalam industri proses [1-4] maupun industri manufaktur [5]. Dalam penelitian ini, akan ditentukan kondisi terbaik variabel respon atau  $y$  (nilai *bursting strength*) yang dipengaruhi dua variabel independen yaitu kecepatan mesin *corrugator* ( $x_1$ ) dan suhu mesin *corrugator* ( $x_2$ ).

## 2. Metode Penelitian

Rancangan faktorial terdiri atas dua faktor dengan masing-masing faktor terdiri atas dua *level* dengan lima kali pengulangan pada titik pusat. Rancangan ini digunakan untuk menduga model orde Adapun masing-masing faktor beserta *level* nya adalah:

- a. Faktor 1 : Kecepatan mesin  
*Level 1* : 170 m/menit ;    *Level 2* : 180 m/menit
- b. Faktor 2 : Suhu Mesin  
*Level 1* : 160°C ;            *Level 2* : 170°C

Penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

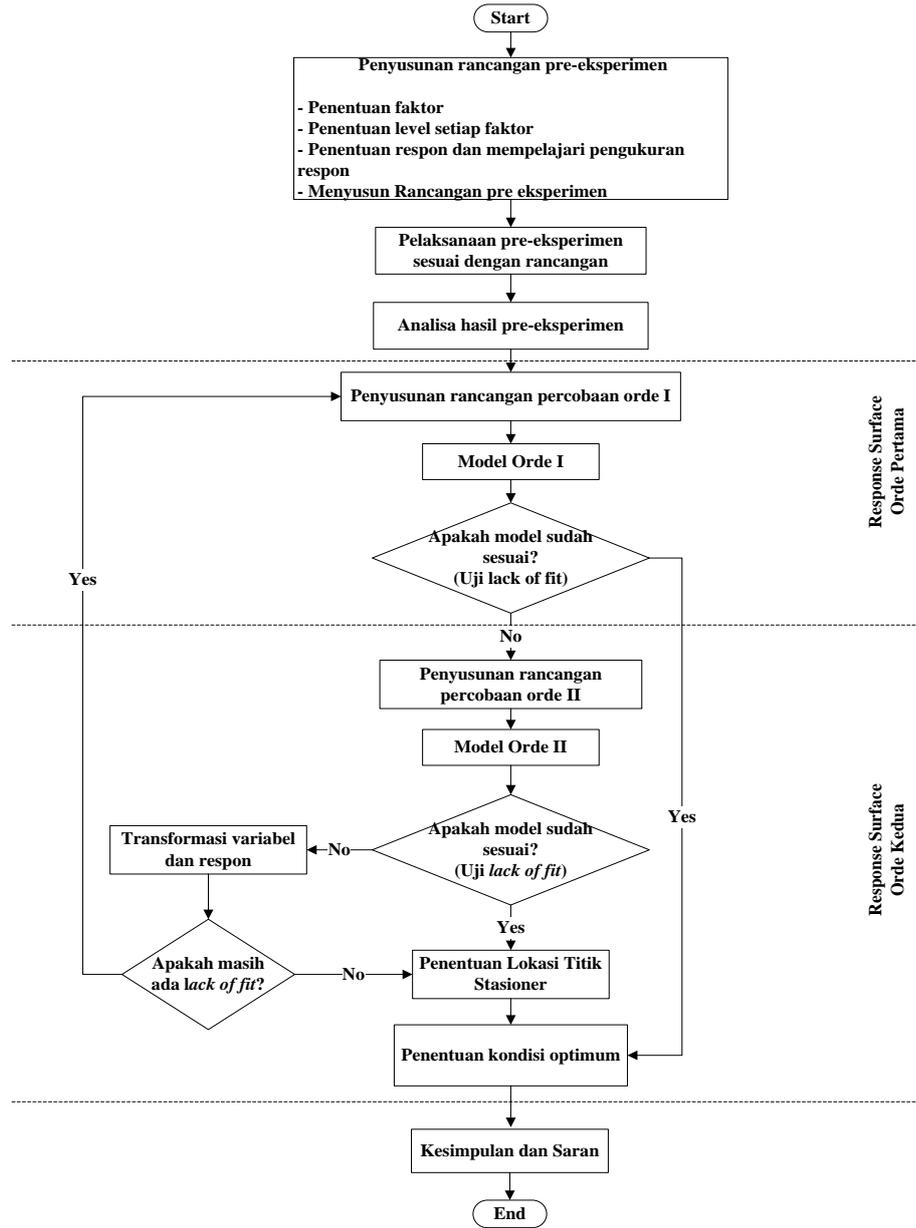
- a. Penyusunan rancangan pre-eksperimen
- b. Pelaksanaan pre-eksperimen dan analisis hasil pre-eksperimen
- c. Perancangan eksperimen orde I (*first-order model*)
- d. Penentuan model orde I
- e. Penentuan model orde I yang kedua (*second first-order model*) dengan metode *steepest ascent*
- f. Penentuan model orde II dengan *central composite design* (CCD)
- g. Penentuan lokasi titik stasioner
- h. Penentuan kondisi optimum

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Desain dan analisa eksperimen orde I

Pada desain orde I digunakan rancangan *full factorial design*  $2^2$  diperoleh 4 *run* dengan penambahan 5 *center point*. Untuk memudahkan perhitungan, level untuk tiap faktor akan dikodekan menjadi 1, -1, dan 0. Pengkodean dari nilai minimum, maksimum dan center point untuk tiap faktor kecepatan ( $x_1$ ) dan faktor suhu ( $x_2$ ). Hasil dari eksperimen orde I dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tabel 1. Tabel eksperimen orde I

| StdOrder | RunOrder | CenterPt | Blocks | $x_1$ | $x_2$ | Speed( $\xi_1$ ) | Temp( $\xi_2$ ) | Respon |
|----------|----------|----------|--------|-------|-------|------------------|-----------------|--------|
| 3        | 1        | 1        | 1      | -1    | 1     | 180              | 170             | 13,6   |
| 1        | 2        | 1        | 1      | -1    | -1    | 180              | 160             | 13,3   |
| 2        | 3        | 1        | 1      | 1     | -1    | 190              | 160             | 13,2   |
| 4        | 4        | 1        | 1      | 1     | 1     | 190              | 170             | 13,4   |
| 5        | 5        | 0        | 1      | 0     | 0     | 185              | 165             | 13,3   |
| 6        | 6        | 0        | 1      | 0     | 0     | 185              | 165             | 13,4   |
| 7        | 7        | 0        | 1      | 0     | 0     | 185              | 165             | 13,4   |
| 8        | 8        | 0        | 1      | 0     | 0     | 185              | 165             | 13,3   |
| 9        | 9        | 0        | 1      | 0     | 0     | 185              | 165             | 13,4   |

*Natural variables* untuk faktor kecepatan mesin dilambangkan dengan  $\xi_1$ , sedangkan untuk faktor suhu mesin dilambangkan dengan  $\xi_2$ . *Coded variables* untuk masing-masing faktor adalah:

$$X_1 = \frac{\xi_1 - 185}{5} \quad ; \quad X_2 = \frac{\xi_2 - 165}{5}$$

Untuk mengetahui apakah ada pengaruh dari variabel yang diuji terhadap nilai *bursting strength* maka digunakan uji ANOVA. Dalam penelitian ini ditetapkan nilai  $\alpha$  (tingkat signifikansi) yang menunjukkan error yang diizinkan adalah *1-confidence level*. *Confidence level* yang digunakan adalah 95% sehingga diperoleh nilai  $\alpha = 0,05$ , artinya hasil eksperimen mempunyai tingkat kepentingan (*confidence interval*) untuk benar 95% dengan probabilitas memperoleh kesalahan maksimal 5% (toleransi kesalahan). Hasil uji eksperimen orde I didapat nilai *p-value* untuk kecepatan dan suhu yaitu 0,024 dan 0,002 dimana *p-value* kedua faktor lebih kecil dari nilai  $\alpha$  (0,05) sehingga dapat dinyatakan kecepatan dan suhu berpengaruh signifikan terhadap respon. Dari hasil analisis variansi, dilakukan uji *lack of fit*. Didapat nilai *p-value lack of fit* sebesar 0,64 > 0,05 maka model regresi orde I sudah sesuai. Langkah berikutnya adalah mencari daerah optimum dengan metode *steepest ascent* dengan acuan persamaan regresi model orde I yaitu  $Y = 13,3667 - 0,075 X_1 + 0,125 X_2 + \epsilon$ .

### 3.2. Steepest Ascent Method (model orde I yang kedua)

Dari persamaan regresi orde I didapatkan nilai  $b_1 = -0,075$  dan  $b_2 = 0,125$ . Untuk bergerak sepanjang lintasan, dipilih ukuran langkah dasar dari variabel bebas dengan mutlak koefisien regresi terbesar, yaitu variabel  $X_2$  (suhu mesin) dengan  $|b_2| = |0,125| = 0,125$ . Ukuran langkah variabel  $X_2$  dipilih sebesar 5 sehingga variabel kodenya  $\Delta X_2 = \frac{5}{5} = 1$ . Ukuran langkah untuk variabel  $X_1$  ditentukan dengan rumus  $\Delta X_1 = \frac{-0,075}{0,125/1} = -0,6$ . Sehingga didapatkan variabel asli  $\Delta \xi_1 = -3$  dan  $\Delta \xi_2 = 5$

**Tabel 2.** Tabel hasil eksperimen *steepest ascent*

| Step                | Coded Variables |       | Natural Variables |         | Response |
|---------------------|-----------------|-------|-------------------|---------|----------|
|                     | $x_1$           | $x_2$ | $\xi_1$           | $\xi_2$ | Y        |
| Origin              | 0               | 0     | 185               | 165     | -        |
| $\Delta$            | -0,6            | 1     | -3                | -5      | -        |
| Origin + $\Delta$   | -0,6            | 1     | 182               | 170     | 13,6     |
| Origin + 2 $\Delta$ | -1,2            | 2     | 179               | 175     | 13,8     |
| Origin + 3 $\Delta$ | -1,8            | 3     | 176               | 180     | 13,5     |

Berdasarkan hasil eksperimen *steepest ascent* daerah respon maksimal berada disekitar titik  $X_1 = -1.2$  dan  $X_2 = 2$  bersesuaian dengan kecepatan mesin 179 m/menit dan suhu 175°C. Setelah diperoleh titik dengan nilai *bursting strength* tertinggi dilakukan eksperimen untuk menduga model orde pertama yang kedua dengan dasar titik pusat  $X_1 = 179$  dan  $X_2 = 175$ . Kode level nilai  $X_1$  dan  $X_2$  untuk eksperimen orde I yang kedua dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Tabel kode level nilai  $X_1$  dan  $X_2$  untuk eksperimen orde I yang kedua

| Kode                      | -1  | 0   | 1   |
|---------------------------|-----|-----|-----|
| Kecepatan Mesin ( $X_1$ ) | 174 | 179 | 184 |
| Suhu Mesin ( $X_2$ )      | 170 | 175 | 180 |

**Tabel 4.** Tabel hasil eksperimen orde I yang kedua

| Coded Variables |       | Natural Variables |         | Response |
|-----------------|-------|-------------------|---------|----------|
| $x_1$           | $x_2$ | $\xi_1$           | $\xi_2$ | Y        |
| -1              | 1     | 174               | 180     | 13,6     |
| -1              | -1    | 174               | 170     | 13,7     |
| 1               | -1    | 184               | 170     | 13,6     |
| 1               | 1     | 184               | 180     | 13,5     |
| 0               | 0     | 179               | 175     | 13,8     |
| 0               | 0     | 179               | 175     | 13,9     |
| 0               | 0     | 179               | 175     | 13,9     |
| 0               | 0     | 179               | 175     | 13,7     |
| 0               | 0     | 179               | 175     | 13,8     |

Hasil uji eksperimen orde I yang kedua didapat nilai  $p$ -value untuk *lack of fit* sebesar 0,011 dimana  $p$ -value *lack of fit* lebih kecil dari nilai  $\alpha$  (0,05) sehingga dapat dinyatakan model regresi orde I yang kedua tidak sesuai dan perlu diajukan model dengan orde yang lebih tinggi agar dapat memaksimalkan hasil eksperimen.

### 3.3. Central Composite Design (Model orde II)

Metode yang digunakan untuk menduga model orde kedua adalah Central Composite Design (CCD). Rancangan ini dibentuk berdasarkan rancangan model orde pertama yang kedua dengan penambahan  $2^k$  titik pengamatan.  $k$  merupakan jumlah faktor dalam eksperimen sehingga nilai  $k$  dalam eksperimen ini adalah 2 maka ditambahkan 4 titik pengamatan pada pusat dengan  $\alpha = (2^k)^{\frac{1}{4}} = (2^2)^{\frac{1}{4}} = 1,414$ . Titik pusat pada model orde II ini adalah  $X_1=179$  dan  $X_2=175$ . Kode *level* nilai  $X_1$  dan  $X_2$  untuk eksperimen orde II dapat dilihat pada tabel 5.

**Tabel 5.** Tabel kode level nilai  $X_1$  dan  $X_2$  untuk eksperimen orde II

| Kode                      | -1,414 | -1  | 0   | 1   | 1,414 |
|---------------------------|--------|-----|-----|-----|-------|
| Kecepatan Mesin ( $X_1$ ) | 172    | 174 | 179 | 184 | 186   |
| Suhu Mesin ( $X_2$ )      | 167,9  | 170 | 175 | 180 | 182   |

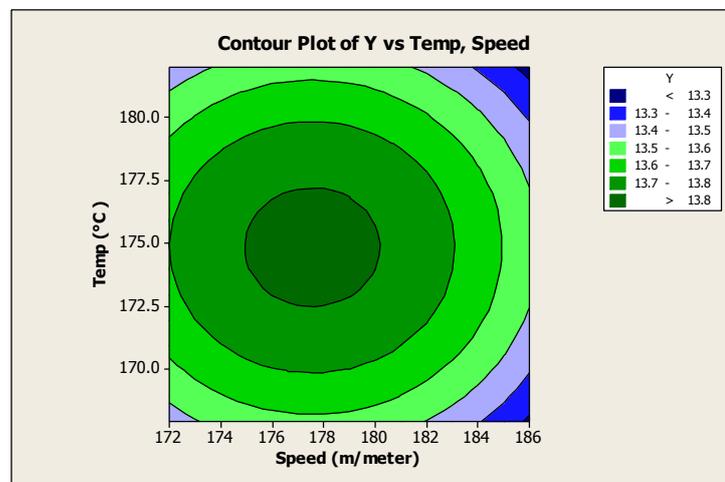
**Tabel 6.** Tabel hasil eksperimen orde II

| Coded Variables |        | Natural Variables |         | Response |
|-----------------|--------|-------------------|---------|----------|
| $x_1$           | $x_2$  | $\xi_1$           | $\xi_2$ | Y        |
| -1              | 1      | 174               | 180     | 13,6     |
| -1              | -1     | 174               | 170     | 13,7     |
| 1               | -1     | 184               | 170     | 13,6     |
| 1               | 1      | 184               | 180     | 13,5     |
| 0               | 0      | 179               | 175     | 13,8     |
| 0               | 0      | 179               | 175     | 13,9     |
| 0               | 0      | 179               | 175     | 13,9     |
| 0               | 0      | 179               | 175     | 13,7     |
| 0               | 0      | 179               | 175     | 13,8     |
| 0               | -1,414 | 179               | 167,9   | 13,5     |
| -1,414          | 0      | 172               | 175     | 13,7     |
| 0               | 1,414  | 179               | 182     | 13,6     |
| 1,414           | 0      | 186               | 175     | 13,5     |

Hasil uji dengan *minitab* untuk eksperimen orde II didapat nilai *p-value* untuk *lack of fit* sebesar 0,557 dimana *p-value lack of fit* lebih besar dari nilai  $\alpha$  (0,05) sehingga dapat dinyatakan model regresi orde II sudah sesuai. Selain uji *lack of fit*, pada model orde II juga perlu dilakukan uji normalitas, independensi dan homogenitas varian untuk residualnya sebelum menuju ke langkah selanjutnya yaitu penentuan lokasi titik stasioner. Koefisien regresi pada model orde II dapat dibuat matriks untuk penentuan titik stasionernya dimana  $\bar{Y} = 13.82 - 0.0604 X_1 - 0.0073 X_2 - 0.1038 X_1^2 - 0.1288 X_2^2$ .

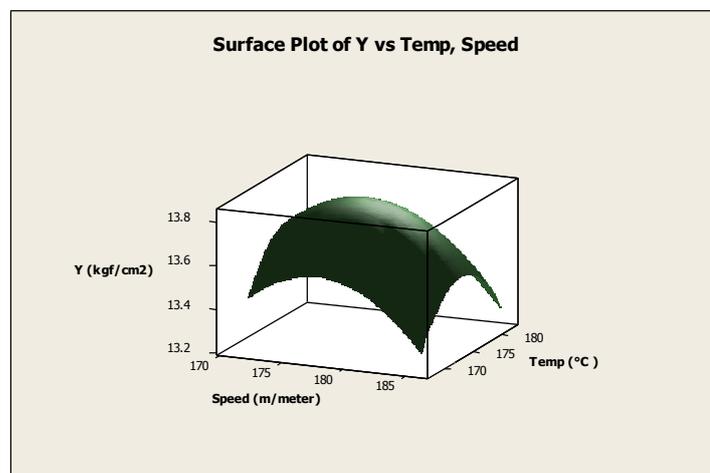
*Penentuan lokasi titik stasioner*

Pada tahap ini akan dilakukan pencarian lokasi titik stasioner dengan menggunakan  $X_s = -\frac{1}{2} B^{-1} b$ . Titik stasioner yang didapat dalam penelitian ini adalah  $X_1 = -0.290944123$  dan  $X_2 = -0.028338509$ . Dari hasil perhitungan  $X_s$  diperoleh variabel asli  $\xi_1$  dan  $\xi_2$  yaitu 178 dan 174,9. Kemudian dilakukan perhitung nilai dugaan respon pada titik stasioner menggunakan  $\hat{y}_s = \hat{\beta}_0 + \frac{1}{2} x_s^T b$  dan ditemukan nilai  $\hat{y}_s$  sebesar 13,8. Selanjutnya akan dilihat karakteristik permukaan respon dari titik stasioner yang dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3.



**Gambar 2.** Contour Plot Kecepatan mesin dan suhu mesin terhadap nilai *bursting strength*

Gambar 1 menunjukkan hubungan faktor kecepatan mesin dan suhu mesin. Terlihat bahwa *stationary point* (titik >13,8) digambarkan pada lingkaran yang paling dalam dan memperlihatkan bahwa titik tersebut mempunyai koordinat dengan nilai  $\pm 178$  untuk kecepatan mesin dan  $\pm 175$  untuk suhu mesin.



**Gambar 3.** Surface plot kecepatan mesin dan suhu mesin terhadap nilai *bursting strength*

*Surface plot* berbentuk kurva setangkup, artinya *surface plot* menunjukkan permukaan respon untuk titik maksimum. Area yang tinggi pada *surface plot* menunjukkan nilai *desirability* (nilai *bursting strength* yang diinginkan) yang tinggi.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil pengolahan data dan analisis data maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil dari analisa menggunakan *Response Surface Method* diperoleh level optimum dari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *bursting strength* yaitu pada kecepatan mesin 178 m/menit dan suhu mesin 174,9°C. Level optimum tersebut memiliki nilai respon *bursting strength* sebesar 13,8 kgf/cm<sup>2</sup>.
2. Berdasarkan hasil dari analisa menggunakan *Response Surface Method*, model optimum antara kecepatan mesin ( $x_1$ ) dan suhu mesin ( $x_2$ ) yang mempengaruhi nilai *bursting strength* adalah  $13.82 - 0.0604 X_1 - 0.0073 X_2 - 0.1038 X_1^2 - 0.1288X_2^2$

#### Daftar Pustaka

- [1] Rianthi, Ni Wayan Ratna. (2013). "*Optimasi Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Hasil Ekstraksi Minyak Daun Cengkeh Menggunakan Metode Permukaan Respons*". Universitas Mataram.
- [2] Edy Purwanto, Emma Savitri, dan Christopher Aditya Sivanada. 2011. Optimasi Suhu dan Konsentrasi Asam Asetat pada Reaksi Epoksidasi Metil Ester Minyak Sawit. Universitas Surabaya.
- [3] Ade Kusuma Dewi, I Wayan Sumarjaya, I Gusti Ayu Made Srinadi. 2013. Penerapan Metode Permukaan Respons dalam Masalah Optimalisasi. Universitas Udayana.
- [4] Didik Wahjudi, Gan Shu San, Lely Tjandranitia Dewi. 1999. Optimasi Kualitas Warna Minyak Goreng dengan Metode Response Surface. Universitas Kristen Petra.
- [5] Dessy Anindita. 2005. Implementasi Response Surface untuk Mengurangi Reject di PT.Surabaya Wire(Departemen Paku). Universitas Kristen Petra.
- [6] Montgomery, DC. (2009). *Design and Analysis of Experiment*. 5th Edition. Wiley, New York.
- [7] Wu,C.F.Jeff (2000). *Experiments Planning, Analysis, and Parameter Design Optimization*. Wiley, United States.