

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan rancangan percobaan penelitian yang ditentukan maka dihasilkan banyaknya cacat *side seam* seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Penelitian

Faktor			Jumlah Cacat <i>welding</i> (per 100 <i>tube</i> )
Temperatur	Tekanan	Waktu	
32	5,5	60	6
34	5,5	60	6
32	6,5	60	7
34	6,5	60	5
32	5,5	70	8
34	5,5	70	6
32	6,5	70	9
34	6,5	70	6
31,318	6	65	11
34,682	6	65	5
33	5,159	65	6
33	6,841	65	5
33	6	56,59	4
33	6	73,41	8
33	6	65	4
33	6	65	5
33	6	65	3
33	6	65	2
33	6	65	3
33	6	65	3

## 4.2 Pembahasan Berdasarkan Optimasi *Central Composite Design* (CCD)

Rancangan penelitian diatas dianalisis dengan menggunakan MINITAB 14 dan didapat hasil desain *response surface* dengan *Central Composite Design* (CCD).

Tabel 4.2 Hasil Desain *Response Surface*

Central Composite Design			
Factors:	3	Replicates:	1
Base runs:	20	Total runs:	20
Base blocks:	1	Total blocks:	1
Two-level factorial: Full factorial			
Cube points:	8		
Center points in cube:	6		
Axial points:	6		
Center points in axial:	0		

### 4.2.1 Pengujian Statistik Linear

Berdasarkan rancangan CCD didapatkan output regresi linear *response surface*, seperti ditunjukkan tabel 4.3.

Tabel 4.3 ANOVA Untuk Model Linier

Analysis of Variance for Jumlah Kerusakan Side seam						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	3	31.4923	31.4923	10.4974	2.65	0.084
Linear	3	31.4923	31.4923	10.4974	2.65	0.084
Temperatur welding	1	21.3881	21.3881	21.3881	5.41	0.034
Tekanan Welding	1	0.0340	0.0340	0.0340	0.01	0.927
Waktu Welding	1	10.0701	10.0701	10.0701	2.55	0.130
Residual Error	16	63.3077	63.3077	3.9567		
Lack-of-Fit	11	57.9744	57.9744	5.2704	4.94	0.045
Pure Error	5	5.3333	5.3333	1.0667		
Total	19	94.8000				

Berdasarkan tabel 4.3 ANOVA untuk model linier perlu dilakukan pengujian dari ANOVA untuk memastikan pemilihan model. Pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

#### 1. Uji Koefisien Regresi Serempak

Dari tabel 4.3 terlihat bahwa pada level pengujian  $\alpha = 0,05$  dan *P-value* dari regresi yaitu 0,084 lebih besar dari 0,05 sehingga hipotesis awal diterima. Dengan  $\alpha$

(level of significant 5%) menunjukkan batas signifikansi (pengaruh secara nyata). Pada penelitian ini digunakan  $\alpha = 5\%$  dengan tingkat kepercayaan 5%. Nilai *cut-off* yang biasanya digunakan untuk nilai  $p$  adalah 0,05. Misalnya, jika dihitung nilai  $p$  dari uji statistik adalah kurang dari 0,05. Anda menolak hipotesis nol.

Dari data diatas pengolahan data tidak cocok menggunakan metode linear. P-value digunakan untuk tes hipotesis, untuk membantu memutuskan apakah akan menolak atau gagal tolak hipotesis. Nilai  $p$  adalah kemungkinan mendapatkan statistik uji nilai yang dihitung sebenarnya, jika hipotesis nol benar,  $\alpha$  adalah *level of significant*.

## 2. Uji Koefisien Secara Individu

Berdasarkan tabel 4.3 menunjukkan *pvalue* untuk tekanan *welding* dan waktu *welding* bernilai lebih besar dari 0,05 yaitu 0,927 dan 0,130 yang menunjukkan bahwa kedua variabel bebas tidak mempunyai pengaruh terhadap cacat, sehingga penggunaan model linier tidak memenuhi.

## 3. Uji Lack Of Fits

Hasil analisis yang ditunjukkan tabel ANOVA menunjukkan pula hasil uji *Lack of Fit* yang dapat digunakan untuk menguji kecukupan model, dengan hipotestis:

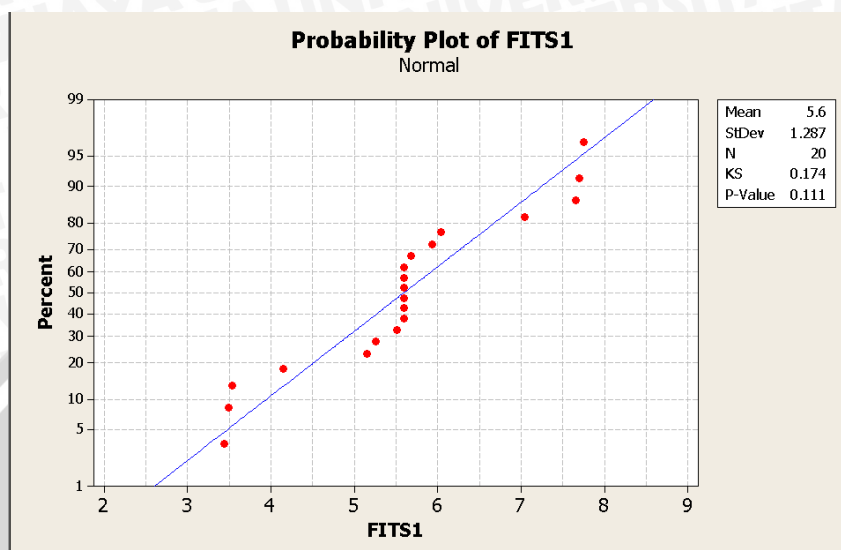
- Hipotesis awal ( $H_0$ ) : tidak ada *lack of fit*
- Hipotesis alternative ( $H_1$ ): ada *lack of fit*

Berdasarkan tabel ANOVA didapatkan *lack of fit* memiliki *p-value* sebesar 0,045 yang lebih kecil dari 0,05 artinya tolak  $H_0$  (terima  $H_1$ ). *Lack of fit* adalah salah satu komponen pefaktoran dari penjumlahan kuadrat dalam ANOVA yang digunakan sebagai nilai dalam *f*-hitung yang menyatakan bahwa model matematika cocok Hal ini menunjukkan bahwa model yang telah dibuat tidak sesuai dengan data.

## 4. Uji Kenormalan

Untuk menunjukkan kecukupan model kita tidak hanya melihat uji *lack of fit*, tetapi harus pula melakukan analisis residual. Ada 3 hal yang dilakukan dalam analisis residual, yaitu memeriksa kenormalan residual, membuat *plot* hasil residual dengan taksiran respon, dan membuat *plot* antara residual dengan *order*.

Uji kenormalan dari residual dari data nilai banyaknya cacat *side seam* di MINITAB14 ditunjukkan gambar 4.1.



Gambar 4.1 Uji Distribusi Normal Residual Hipotesis

Ho: Residual berdistribusi normal

H1: Residual tidak berdistribusi normal

Nilai *P-value* lebih besar dari 0,05 (sebesar 0,111) yang artinya bahwa residual telah terdistribusi normal. Asumsi kenormalan residual pada suatu model regresi telah dipenuhi oleh model regresi yang telah dibuat.

**5. Uji Koefisien Determinasi (R2)**

Tabel 4.4 Koefisien Regresi Jumlah Cacat *Side Seam*

Estimated Regression Coefficients for Jumlah Kerusakan Side seam				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	36.3335	20.1592	1.802	0.090
Temperatur welding	-1.2514	0.5383	-2.325	0.034
Tekanan Welding	-0.0998	1.0765	-0.093	0.927
Waktu Welding	0.1717	0.1077	1.595	0.130

S = 1.98915    PRESS = 90.0567  
R-Sq = 33.22%    R-Sq(pred) = 5.00%    R-Sq(adj) = 20.70%

Berdasarkan tabel 4.4 prosentase dari total variasi yang dapat diterangkan oleh model ( $R^2$ ) sebesar 33,22%. Nilai  $R^2$  berkisar 0-100%, semakin mendekati 100%

semakin sesuai model yang digunakan. Nilai  $R^2$  pada penelitian ini menunjukkan nilai yang sangat kecil (relatif mendekati nol) sehingga pendugaan polinomial orde pertama tidak memenuhi.

#### 4.2.1.1 Model Empiris

Berdasarkan tabel 4.3 didapatkan model empiris dari banyaknya cacat *side seam* berdasarkan metode analisis respon permukaan maka dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Y = 36,3335 - 2514 x_1 - 0,0998x_2 + 0,1717x_3$$

Keterangan :

$x_1$  = Temperatur *welding* (°C)

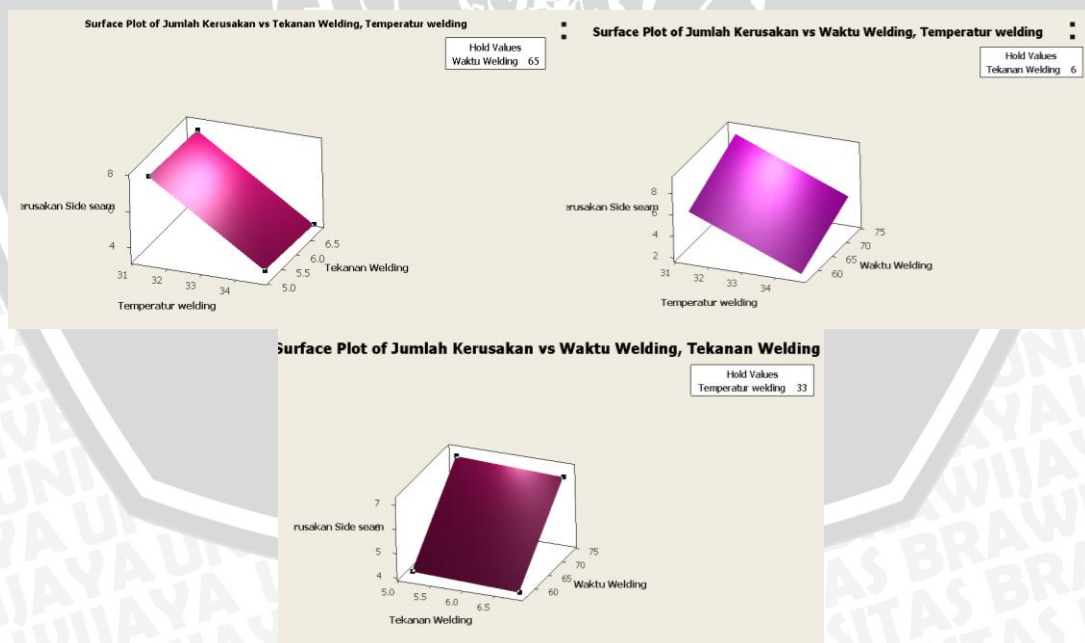
$x_2$  = Tekanan *welding* (Bar)

$x_3$  = Waktu *welding* (ms)

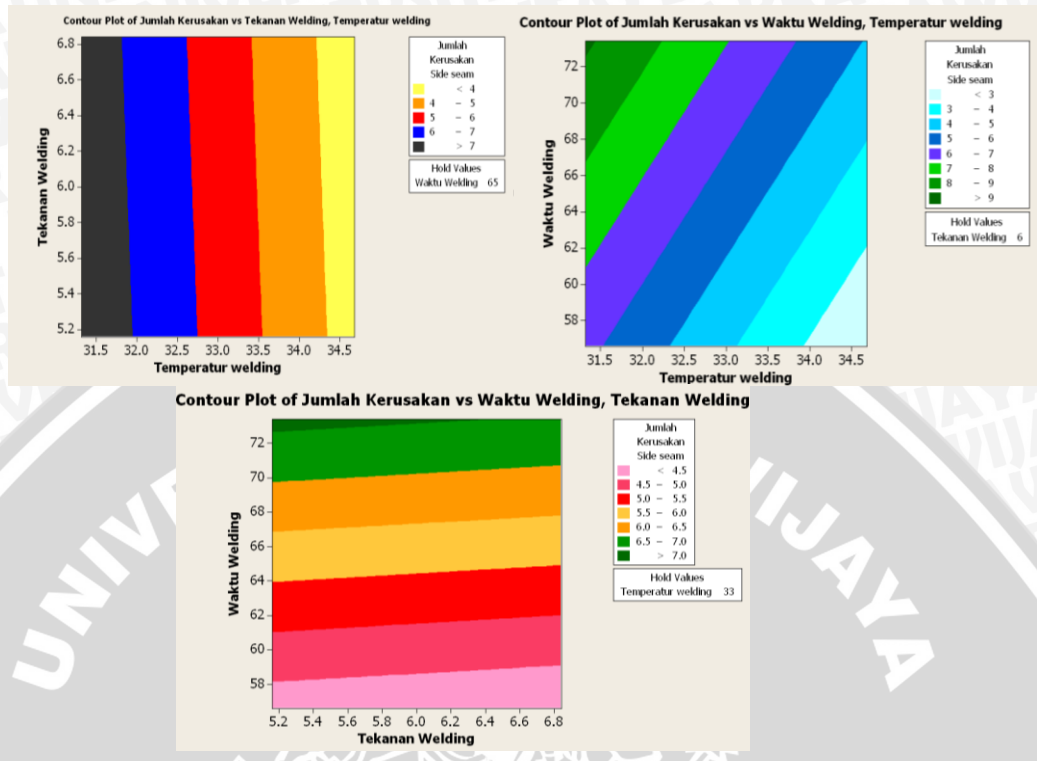
Persamaan diatas diperoleh dengan model regresi seperti pada lampiran 3.

#### 4.2.1.2 Contour Plot dan Surface Plot Model Linier

Berdasarkan hasil analisis respon permukaan akan didapatkan *contour plot* dan *surface plot* dari jumlah cacat *welding*, seperti ditunjukkan gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.2 Surface Plot dari Jumlah Cacat Side Seam



Gambar 4.3 Contour Plot dari Jumlah Cacat Side Seam

Pada Surface Plot dan Contour Plot dari Jumlah Cacat Side Seam model linier tidak dapat digunakan karena model linear tidak cocok untuk digunakan optimasi model.

Setelah data dilakukan analisis response surface dan pengujian model linier didapatkan bahwa model linier tidak sesuai, sehingga perlu dilakukan pengujian model full quadratic untuk mendapatkan hubungan dari ketiga variasi temperatur, tekanan, dan waktu welding terhadap kerusakan side seam.

**4.2.2 Pengujian Statistik Full Quadratic**

Berdasarkan rancangan CCD didapatkan output regresi full quadratic response surface, seperti ditunjukkan tabel 4.5.

Tabel 4.5 ANOVA Untuk Model Jumlah Cacat *Side Seam*

Analysis of Variance for Jumlah Cacat <i>Side Seam</i>						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	84.9446	84.9446	9.4383	9.58	0.001
Linear	3	31.4923	29.9557	9.9852	10.13	0.002
Temperatur	1	21.3881	29.1902	29.1902	29.62	0.000
Tekanan	1	0.0340	0.2734	0.2734	0.28	0.610
Waktu	1	10.0701	0.7660	0.7660	0.78	0.399
Square	3	51.0773	51.0773	17.0258	17.28	0.000
Temperatur*Temperatur	1	32.3155	38.5604	38.5604	39.13	0.000
Tekanan*Tekanan	1	6.3336	8.1469	8.1469	8.27	0.017
Waktu*Waktu	1	12.4282	12.4282	12.4282	12.61	0.005
Interaction	3	2.3750	2.3750	0.7917	0.80	0.520
Temperatur*Tekanan	1	1.1250	1.1250	1.1250	1.14	0.310
Temperatur*Waktu	1	1.1250	1.1250	1.1250	1.14	0.310
Tekanan*Waktu	1	0.1250	0.1250	0.1250	0.13	0.729
Residual Error	10	9.8554	9.8554	0.9855		
Lack-of-Fit	5	4.5221	4.5221	0.9044	0.85	0.570
Pure Error	5	5.3333	5.3333	1.0667		
Total	19	94.8000				

Berikut ini adalah pengujian statistic dengan metode *full quadratic* :

### 1. Uji Koefisien Regresi Serempak

Dari tabel 4.5 terlihat bahwa pada level pengujian  $\alpha = 0,05$  dan *P-value* dari regresi adalah 0,001 yaitu lebih kecil dari 0,05 sehingga hipotesis awal ditolak. Hasil ANOVA untuk model menunjukkan model linier (*p-value* = 0,02) dan model kuadratik (*p-value* = 0,000) signifikan karena *p-value* keduanya kurang dari  $\alpha = 0,05$  (penelitian ini menggunakan level signifikansi 5%). Sebaliknya, model non linier yang mengikutsertakan interaksi antar faktor tidak signifikan. Artinya, model yang tepat untuk kasus adalah model kuadratik.

### 2. Uji Koefisien Secara Individu

Berdasarkan tabel 4.5 menunjukkan *pvalue* untuk temperatur dan tekanan *welding* dan waktu *welding* berturut-turut adalah 0,000,0,017, dan 0,005 yaitu lebih kecil dari 0,05 yang menunjukkan bahwa ketiga variabel bebas mempunyai pengaruh yang sangat signifikan terhadap rata-rata jumlah cacat *side seam*.

### 3. Uji Lack Of Fits

Hasil analisis yang ditunjukkan tabel ANOVA menunjukkan pula hasil uji *Lack of Fit* yang dapat digunakan untuk menguji kecukupan model, dengan hipotestis:

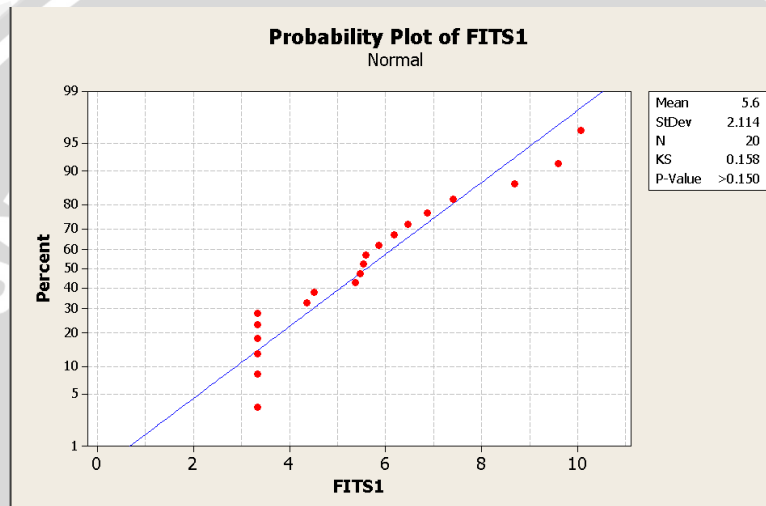
c. Hipotesis awal ( $H_0$ ) : tidak ada *lack of fit*

d. Hipotesis alternative (H1): ada *lack of fit*

Berdasarkan tabel ANOVA didapatkan *lack of fit* memiliki *p-value* sebesar 0,570 yang lebih besar dari 0,05 artinya gagal tolak  $H_0$  (terima  $H_0$ ). Hal ini menunjukkan bahwa model yang telah dibuat telah sesuai dengan data.

#### 4. Uji Kenormalan

Uji kenormalan dari residual dari data banyaknya cacat yang dilakukan di MINITAB14 ditunjukkan gambar 4.4.



Gambar 4.4 Uji Distribusi Normal Residual Hipotesis

$H_0$ : Residual berdistribusi normal

$H_1$ : Residual tidak berdistribusi normal

Nilai *P-value* lebih besar dari 0,05 (sebesar 0,150) yang artinya bahwa residual telah terdistribusi normal. Asumsi kenormalan residual pada suatu model regresi telah dipenuhi oleh model regresi yang telah dibuat sehingga bisa digunakan.

#### 5. Uji Koefisien Determinasi (R2)

Tabel 4.6 Koefisien Regresi Jumlah Cacat *Side Seam*

Estimated Regression Coefficients for Jumlah Kerusakan Side seam				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1790.75	366.560	4.885	0.001
Temperatur Welding	-99.84	18.345	-5.442	0.000
Tekanan Welding	-14.69	27.888	-0.527	0.610
Waktu Welding	-2.48	2.816	-0.882	0.399
Temperatur Welding* Temperatur Welding	1.64	0.262	6.255	0.000
Tekanan Welding*Tekanan Welding	3.01	1.046	2.875	0.017
Waktu Welding*Waktu Welding	0.04	0.010	3.551	0.005
Temperatur Welding*Tekanan Welding	-0.75	0.702	-1.068	0.310
Temperatur Welding*Waktu Welding	-0.07	0.070	-1.068	0.310
Tekanan Welding*Waktu Welding	0.05	0.140	0.356	0.729
S = 0.992746 PRESS = 42.2237				
R-Sq = 89.60% R-Sq(pred) = 55.46% R-Sq(adj) = 80.25%				



Berdasarkan tabel 4.6 persentase dari total variasi yang dapat diterangkan oleh model (R2) sebesar 89,60%. Nilai ini cukup besar, yang berarti bahwa pendugaan model polinomial orde kedua memenuhi.

**4.2.2.1 Model Empiris**

Berdasarkan tabel 4.6 didapatkan model empiris dari banyaknya kerusakan *side seam* berdasarkan metode analisis respon permukaan maka dapat dirumuskan sebagai berikut:

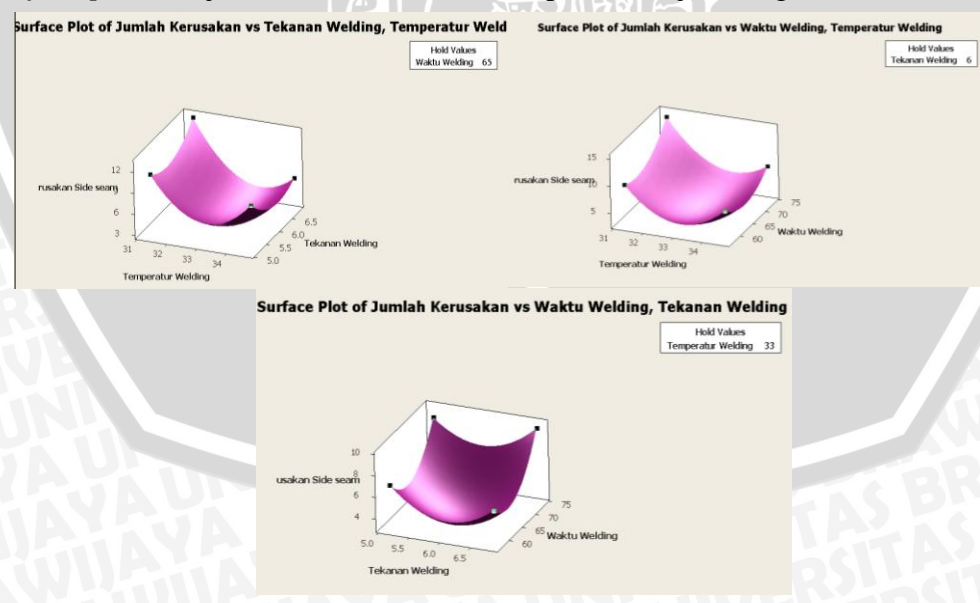
$$Y = 1790,75 - 99,84x_1 - 14,69 x_2 - 2,48 x_3 + 1,64 x_1^2 + 3,01 x_2^2 + 0,04 x_3^2 - 0,75 x_1 x_2 - 0,07 x_1 x_3 + 0,05 x_2 x_3$$

- Keterangan :
- x<sub>1</sub>= Temperatur *welding* (°C)
  - x<sub>2</sub> = Tekanan *welding* (Bar)
  - x<sub>3</sub> = Waktu *welding* (ms)

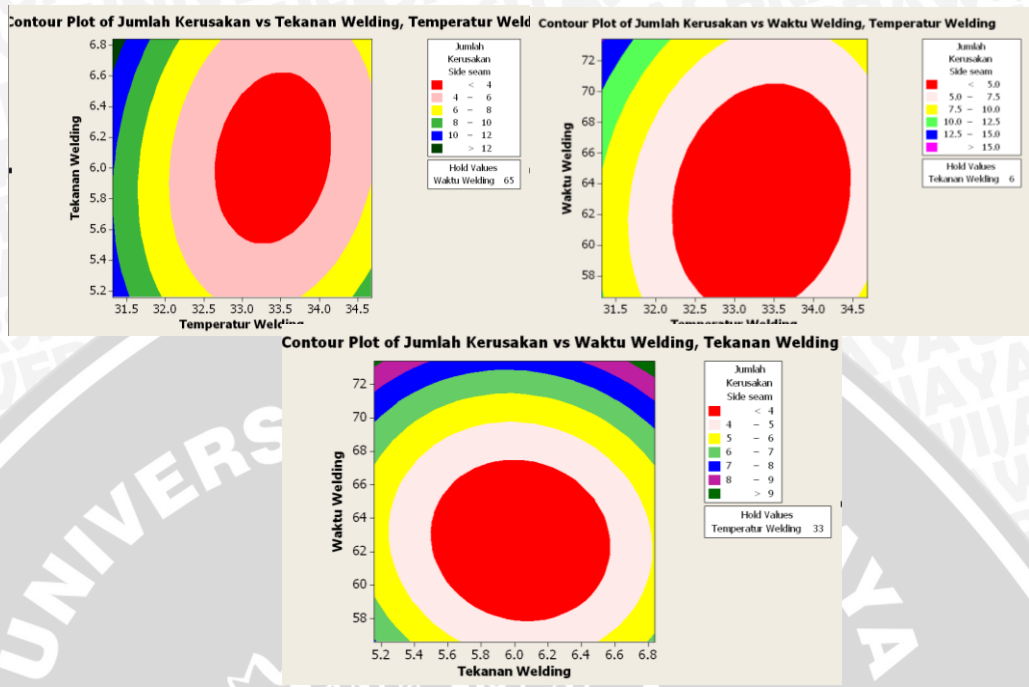
Persamaan diatas diperoleh dengan model regresi seperti pada lampiran 3.

**4.2.2.2 Contour Plot dan Surface Plot Model Full Kuadratik**

Berdasarkan hasil analisis respon permukaan akan didapatkan *contour plot* dan *surface plot* dari jumlah cacat *side seam*, seperti ditunjukkan gambar 4.5 dan 4.6.



Gambar 4.5 Surface Plot dari Jumlah Cacat Side Seam



Gambar 4.6 Contour Plot dari Jumlah Cacat Side Seam

Pada *Surface Plot* dapat dilihat titik optimal dari optimasi temperatur *welding*, tekanan *welding*, dan waktu *welding* yaitu pada titik paling rendah dari grafik yang menghasilkan cacat sebanyak nol. Pada *Contour Plot* dapat dilihat bahwa pada warna merah merupakan titik paling optimal yang menghasilkan cacat paling sedikit.

Dari *surface plot* dan *contour plot* model *full kuadratik* didapatkan hubungan dari ketiga variasi temperatur, tekanan, dan waktu *welding* terhadap cacat *side seam*. Sehingga pengujian yang sesuai adalah model *full quadratic*.

### 4.3 Analisis dengan Pendekatan *Desirability Function*

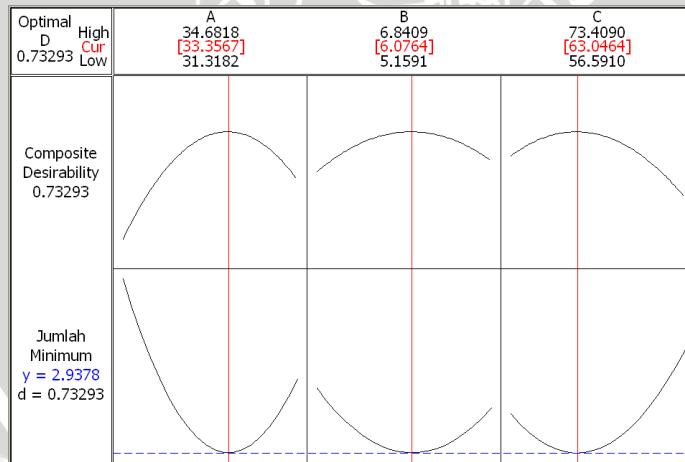
Dari model yang telah diketahui dapat ditentukan jumlah cacat *side seam welding* yang akan diperoleh. Metode optimasi yang digunakan adalah pendekatan *desirability function* dengan MINITAB versi 14.

Kriteria *desirability function* yang digunakan adalah *smaller the better*. Kriteria ini dilakukan untuk mengetahui jumlah kerusakan *side seam* dengan temperatur, tekanan dan waktu *welding* yang berbeda-beda. Untuk melakukan analisis

dengan pendekatan *desirability function* , maka terlebih dahulu dimasukkan nilai batas dari respon. Target yang ingin dicapai adalah jumlah cacat *side seam welding* yang dihasilkan adalah nol. Berdasarkan hasil percobaan dimasukkan jumlah cacat terkecil yang didapat. Analisis *desirability function* sebagai hasil dari kombinasi variabel proses yang menghasilkan respon minimal ditunjukkan tabel 4.7 dan gambar 4.7.

Tabel 4.7 Analisis Pendekatan *Desirability Function*

Response Optimization						
Parameters						
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Jumlah	Minimum	0	0	11	1	1
Global Solution						
A	=	33.3567				
B	=	6.07645				
C	=	63.0464				
Predicted Responses						
Jumlah	=	2.93778	,	desirability =	0.732929	



Gambar 4.7 *Response Optimamization*

Berdasarkan tabel 4.7 dapat dikatehui bahwa temperatur, tekanan , dan waktu *welding* yang optimal adalah 33,3567°C, 6,07645 Bar, dan 63,0464 ms . Dengan nilai

*composite desirability* sebesar 0,732929 menghasilkan kerusakan *side seam* rata-rata yaitu 2,93778 .

#### 4.4 Pembahasan Variabel Eksperimen

Setelah kita uji data yang kita dapat dengan uji statistik maka dilakukan uji eksperimen.

##### 4.4.1 Pengujian Eksperimen

Berdasarkan optimasi CCD didapatkan :

$x_1$  : 33,3 °C

$x_2$  : 6,0 Bar

$x_3$  : 63,0 ms

Dengan perkiraan cacat rata-rata 2,93778.

Berdasarkan metode optimasi yang dilakukan perkiraan cacat yang terjadi rata-rata adalah 2,93778 buah. Dilakukan percobaan dengan menggunakan variabel-variabel optimasi diatas dan didapatkan hasil :

Tabel 4.8 Percobaan Penelitian Sesuai Hasil Dari *Desirability Function*

No	$x_1$ (°C)	$x_2$ (Bar)	$x_3$ (ms)	Jumlah Cacat <i>Welding</i>
1	33,3	6	63	5
2	33,3	6	63	4
3	33,3	6	63	0
4	33,3	6	63	5
5	33,3	6	63	0
6	33,3	6	63	5
7	33,3	6	63	0
8	33,3	6	63	3
9	33,3	6	63	4
10	33,3	6	63	0

Dari data yang didapat dari percobaan dengan menggunakan temperatur *welding* 33,3 °C, tekanan *welding* 6 Bar dan waktu *welding* 63 ms. Terlihat bahwa cacat maksimal 5 dan minimal sebanyak nol. Hal ini sesuai dengan pengujian teori menggunakan metode statistik yaitu menghasilkan cacat rata-rata sebesar 2,93778.

Sehingga model optimasi memenuhi syarat berdasarkan statistik maupun eksperimen lapangan.

#### 4.4.2 Pembahasan Pengujian Eksperimen

##### 1. Suhu *welding*

Suhu berpengaruh pada saat penyambungan *side seam*. Sesuai dengan rumus kalor yaitu :

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad \dots(4.1)$$

Keterangan :

Q= kalor (Joule)

c= kalor jenis (Joule/kg °C)

T=temperature (°C)

m= massa benda (Kg)

Jika suhu (T) yang digunakan semakin besar dengan kalor jenis dan massa yang konstan maka masukkan panas yang dihasilkan juga semakin besar sehingga dapat merusak *side seam welding* tersebut. Sebaliknya, jika suhu (T) yang digunakan semakin kecil maka masukkan panas yang dihasilkan semakin kecil pula menyebabkan daerah *side seam laminated tube* masih relatif padat sehingga tidak dapat menempel dengan sempurna.

Dari data diatas, saat menggunakan temperatur yaitu 32 °C cacat yang dihasilkan cenderung meningkat. Hal ini disebabkan karena daerah pinggiran *side seam laminated tube* yang akan disambung relatif lebih padat sehingga tidak dapat menempel dengan sempurna. Sedangkan saat menggunakan temperatur 34°C cacat yang dihasilkan juga meningkat. Hal ini disebabkan karena daerah pinggiran *side seam laminated tube* yang akan disambung terlalu lebih cair atau lunak sehingga tidak dapat menempel dengan sempurna. Tetapi dengan menggunakan temperatur 33,3 °C cacat yang dihasilkan cenderung menurun karena daerah pinggiran *side seam laminated tube* yang akan disambung cenderung cair atau lunak sehingga dapat menempel dengan sempurna.

## 2. Tekanan *welding*

Tekanan berpengaruh pada saat penyambungan *side seam*. Sesuai dengan rumus :

$$F = p \cdot A \quad \dots(4.2)$$

Keterangan :

F= gaya (N)

p= tekanan (N/m<sup>2</sup>)

A= luas penampang (m<sup>2</sup>)

Jika tekanan tersebut terlalu tinggi dengan luas penampang yang sama maka gaya yang dihasilkan akan semakin besar sehingga akan merusak *side seam laminated web* itu sehingga tidak menempel sempurna. Sebaliknya, jika tekanan terlalu rendah maka gaya yang dihasilkan akan semakin kecil menyebabkan gaya untuk menempelkan *side seam* terlalu kecil sehingga tidak menempel dengan sempurna.

Dari data diatas, saat menggunakan tekanan 5,5 Bar cacat yang dihasilkan cenderung meningkat. Hal ini disebabkan karena gaya tekan yang diberikan pada *laminated web* tersebut terlalu kecil sehingga *side seam* tidak menempel. Saat menggunakan tekanan 6.5 cacat yang dihasilkan cenderung meningkat karena gaya tekan yang diberikan pada *laminated web* tersebut terlalu besar sehingga dapat merusak *side seam*. Saat menggunakan tekanan sebesar 6 Bar cacat yang dihasilkan cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena gaya tekan yang diberikan pada *laminated web* tersebut cukup sehingga *side seam* dapat menempel dengan sempurna.

## 3. Waktu pemanasan

Waktu berpengaruh pada saat penyambungan *side seam*. Sesuai dengan rumus kalor yaitu :

$$W = P \cdot t \quad \dots(4.3)$$

Keterangan :

W= energy (Joule)

P = daya (Joule/sekon)

$t$  = waktu (sekon)

Jika waktu ( $t$ ) yang digunakan semakin besar dengan daya yang digunakan konstan maka masukkan energi panas yang dihasilkan juga semakin besar sehingga dapat merusak *side seam welding* tersebut. Sebaliknya, jika waktu ( $t$ ) yang digunakan semakin kecil maka masukkan panas yang dihasilkan semakin kecil pula menyebabkan daerah *side seam laminated tube* masih relatif padat sehingga tidak dapat menempel dengan sempurna.

Dari data diatas, saat menggunakan waktu 60 ms cacat yang dihasilkan cenderung meningkat. Hal ini disebabkan karena waktu penyambungan yang diberikan pada *laminated web* tersebut terlalu cepat sehingga *side seam* tidak menempel dengan sempurna. Sedangkan menggunakan waktu 65 ms, dan 70 ms cacat yang dihasilkan cenderung meningkat. Hal ini disebabkan karena waktu penyambungan yang diberikan pada *laminated web* tersebut terlalu lama sehingga merusak *side seam*. Saat menggunakan waktu 63 ms cacat yang dihasilkan cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena waktu penyambungan yang diberikan pada *laminated web* tersebut cukup sehingga *side seam* dapat menempel dengan sempurna.