

# Optimasi Parameter Proses Pemotongan *Acrylic* terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan *Laser Cutting* Dengan Metode *Response Surface*

Moh. Muria Armansyah S.<sup>1\*</sup>, Endang Pudji Purwanti<sup>2</sup>, dan Bayu Wiro Karuniawan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

\*E-mail: muriaarmansyah07@gmail.com

## Abstrak

Dewasa ini banyak sekali permintaan pasar terutama industri produk yang materialnya terbuat dari plastic, karena pada dasarnya plastic merupakan bahan dasar yang banyak dipilih karena mudah ditemui dan dapat diproses menjadi produk yang lebih kompleks. Plastic juga menjadi material pendukung sheet metal karena beberapa jenis material plastic memiliki kriteria dan ketahanan material yang hampir sama dengan sheet metal. Salah satu jenis plastic yang digunakan adalah acrylic karena memiliki sifat mekanik material yang baik dan kuat. Namun ada kendala saat banyaknya produk yang dibuat dengan bahan dasar plastic sehingga perlu adanya peningkatan kualitas dan mutu produk yang dihasilkan. Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas dan mutu produk adalah dengan optimasi parameter. Optimasi parameter adalah teknik yang digunakan pada proses manufaktur untuk menghasilkan produk terbaik. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi parameter CNC laser cutting yaitu laser power, cutting speed dan nozzle distance untuk mengoptimalkan nilai kekasaran permukaan pada material acrylic. Masing-masing parameter memiliki 3 level dan pada penelitian ini menggunakan metode ANOVA untuk menganalisis data hasil percobaan dan optimasi kekasaran minimum permukaan pada proses laser cutting dilakukan dengan menggunakan metode response surface yang dipadukan dengan desain eksperimen box-behken. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode response surface dapat digunakan untuk mengoptimasi parameter permesinan pada laser cutting dengan tingkat akurasi yang cukup baik. Hal ini dibuktikan dengan hasil pengaturan parameter laser cutting dalam memotong material akrilik dengan tebal 3 mm dari metode response surface ini adalah Laser Power : 55 W, Cutting Speed : 22 mm/s dan dengan Nozzle Distance : 6,5 mm dengan acuan hasil kekasaran permukaan pemotongan adalah 1,93  $\mu\text{m}$ . Setelah dilakukan uji konfirmasi, hasil dari uji konfirmasi dan perhitungan metode response surface sebelumnya tepat, maka ini menunjukkan bahwa metode response surface dapat menghasilkan parameter dan nilai kekasaran yang optimum.

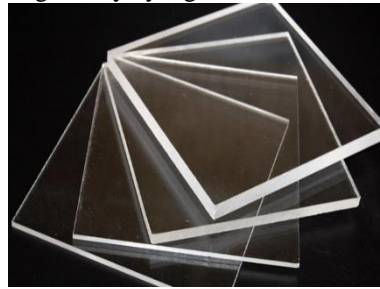
**Kata kunci :** *Acrylic, Box-Behken, Kekasaran Permukaan, Laser Cutting, Metode Response Surface, Plastic.*

## 1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman dan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, aplikasi laser telah banyak digunakan oleh masyarakat dalam berbagai bidang. Hingga saat ini telah banyak dikembangkan berbagai teknik perlakuan permukaan material dengan menggunakan laser atau sering disebut dengan *laser processing materials*. Penerapan aplikasi *laser processing materials* dapat berupa *laser engraving*, laser sintering, maupun aplikasi laser untuk melakukan pemotongan suatu material.

Salah satu material yang digunakan pada proses pemotongan dengan mesin *laser cutting* adalah *Acrylic*. *Acrylic* atau PMMA memiliki nilai kekerasan dalam Rockwell B adalah 67-97 HRB dan mempunyai sifat yang ringan dan kuat serta memiliki ketahanan tekanan yang baik sehingga dapat diaplikasikan secara luas dalam sejumlah sektor seperti rumah tangga, rumah sakit, kereta api,

pertanian, konstruksi, kimia, elektronik, maupun bidang perindustrian. Dengan demikian hasil produk dari *Acrylic* dituntut untuk memiliki nilai kekasaran yang baik karena sering dimanfaatkan oleh manusia dan untuk mengurangi bahaya yang ditimbulkan saat dipakai manusia.



**Gambar 1.** *Acrylic* (PMMA)

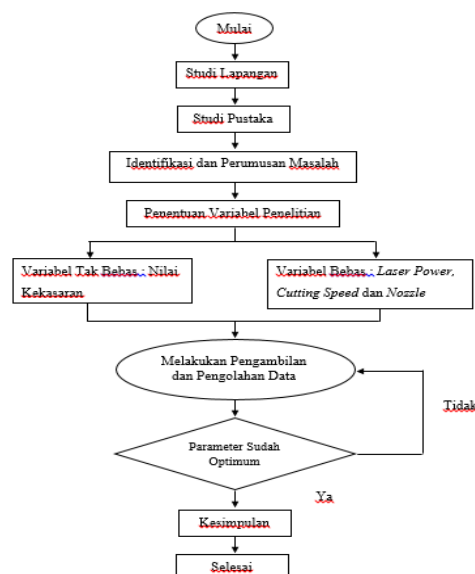
Penelitian ini membahas mengenai parameter dan nilai kekasaran yang optimum mesin *laser cutting* pada saat proses pemotongan material *acrylic* dengan tebal 3 mm. Parameter yang akan dijadikan level dan faktor adalah *laser power*, *cutting speed* dan *nozzle distance*. Masing – masing parameter tersebut akan dibuat variabel eksperimen dengan menggunakan metode *response surface box-behnken*. Setelah dilakukan eksperimen dan pengolahan data, nantinya hasil uji konfirmasi akan dibandingkan dengan hasil pengolahan data, bila antara hasil uji konfirmasi dan pengolahan data memiliki hasil yang sama atau mendekati, maka dapat dinyatakan parameter dan nilai kekasaran menacapai optimum.

Prihadianto (2015) menjelaskan bahwa untuk mendapatkan kualitas pemotongan yang baik diperlukan adanya kombinasi dari parameter potong antara lain jenis laser, tekanan gas, kecepatan potong, daya pemotongan, dan jarak *nozzle* atau *nozzle distance*.

Montgomery (1991) menjelaskan metode *response surface* adalah kumpulan dari teknik statistika dan matematika yang berguna untuk meningkatkan, mengembangkan dan mengoptimalkan suatu proses. Metode *response surface* digunakan untuk menghasilkan kondisi optimum yang dinamis.

## 2. METODOLOGI

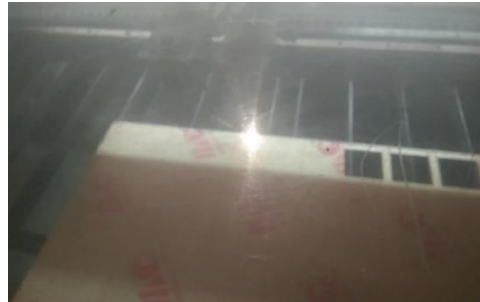
Penelitian awal yang dilakukan yaitu mencari data collection mengenai mesin *laser cutting* kemudian *trial and error* pemotongan material akrilik. Untuk mengetahui langkah-langkah dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



**Gambar 2.** Diagram Alur Penelitian

### 2.1. Proses Pemotongan Material Akrilik

Spesimen dipotong dengan ukuran 50 mm x 50 mm. Pemotongan spesimen dilakukan sesuai dengan variabel penelitian yaitu jumlah 15 eksperimen dengan 3 kali replikasi per eksperimen. Seperti dilihat pada gambar 3 berikut ini.



**Gambar 3.** Pemotongan Material

### 2.2. Pengukuran Ra

Pengukuran Ra pada spesimen yang telah dipotong dilakukan untuk mengetahui tingkat nilai kekasaran permukaan (*Surface Roughness*). Pengukuran Ra menggunakan alat *Surface Roughness Tester* Brand Mitutoyo Model : Surftest SJ – 201. Pengukuran Ra dilakukan pada setiap ujung sisi spesimen atau 4 kali pada setiap spesimen seperti pada gambar 4.



**Gambar 4.** Pengukuran Ra pada Spesimen

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Hasil Kekasaran Permukaan

Hasil dari pengujian kekasaran permukaan (Ra) spesimen dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini:

**Tabel 1.** Hasil Kekasaran Permukaan

Eksperimen	Rata – Rata Replikasi Ra			Rata – Rata Keseluruhan Ra
	1	2	3	
1	2,92	2,70	2,66	2,77
2	2,02	2,03	2,02	2,02
3	1,83	1,88	1,84	1,85
4	2,73	2,74	2,71	2,73
5	2,56	2,65	2,34	2,52
6	2,89	2,85	2,86	2,86
7	2,12	2,13	2,13	2,12
8	2,12	2,13	2,13	2,12
9	2,18	2,20	2,18	2,19
10	2,54	2,51	2,49	2,52
11	2,15	2,19	2,16	2,17
12	2,01	2,04	2,05	2,03
13	2,51	2,50	2,55	2,52

14	2,85	2,71	2,40	2,65
15	2,46	2,37	2,46	2,43

Sumber : Pengujian Kekasaran Permukaan UBAYA, 2017

### 3.2. Penentuan Model Perhitungan

Dalam menentukan model (Y), persamaan yang digunakan adalah persamaan linier dengan persamaan interaksi sehingga persamaan yang dihasilkan menjadi sebagai berikut :

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1X_2 + b_5X_1X_3 + b_6X_2X_3$$

### 3.3. Perhitungan Data

Setelah didapatkan nilai kekasaran dan persamaan model, maka selanjutnya adalah menghitung data tersebut dengan tabel perhitungan manual ANAVA dengan hasil sebagai seperti pada tabel 2 berikut :

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Data

Sumber Variasi	db	Jumlah Kuadrat (SS)	Rata – rata Kuadrat (MS)	F <sub>hitung</sub>
Regresi	6	1,10290	0,18382	5,23
Error	8	0,2811	0,03514	-
Lack of Fit	6	0,2562	0,04272	3,44
Pure Error	2	0,02481	0,01240	-
Total	14	1,38401	-	-

Sumber : Perhitungan Data, 2017

Kemudian hasil perhitungan ANAVA manual dicocokkan dengan perhitungan software minitab dengan hasil seperti gambar 5. berikut :

```

Analysis of Variance for HASIL KEKASARAN

Source          DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS   F     P
Regression      6   1,10290  1,10290  0,18382  5,23  0,018
  Linear        3   0,36753  0,60739  0,20246  5,76  0,021
  Interaction    3   0,73537  0,73537  0,24512  6,98  0,013
Residual Error  8   0,28110  0,28110  0,03514
  Lack-of-Fit   6   0,25631  0,25631  0,04272  3,45  0,242
  Pure Error    2   0,02479  0,02479  0,01240
Total          14   1,38401

```

**Gambar 5.** Perhitungan Minitab

Dapat disimpulkan dari tabel dan gambar diatas bahwa nilai *Lack of Fit* dari model persamaan adalah dapat diterima hal ini dibuktikan dengan nilai  $F_{hitung} > F_{tabel}$  sehingga dapat disimpulkan bahwa  $H_0$  diterima atau model tidak terdapat *Lack of Fit*. Begitu juga dengan  $P_{value}$  pada perhitungan minitab yaitu sebesar 0,242 dimana nilai tersebut lebih besar dari nilai signifikansi ( $\alpha$ ) sebesar 0,05 maka dapat dinyatakan  $P_{value} > \alpha$  sehingga model tidak terdapat *Lack of Fit* (sudah sesuai).

### 3.4. Uji Koefisien Berganda

Hasil perhitungan minitab akan langsung menampilkan hasil dari  $R^2$  sehingga nilai akan langsung muncul. Kriteria penerimaan yaitu nilai  $R^2$  berkisar antara 0 sampai 100% dimana nilai  $R^2$  semakin mendekati 100% maka model semakin baik. Berikut hasil analisa dengan minitab dapat dilihat pada gambar 6 berikut :

```

S = 0,187451 PRESS = 1,04346
R-Sq = 79,69% R-Sq(pred) = 24,61% R-Sq(adj) = 64,46%

```

**Gambar 6.** Perhitungan Minitab Uji Koefisien Berganda

Dari hasil analisa diatas dapat ditunjukkan bahwa nilai  $R^2$  sebesar 79,69%, dengan nilai prosentase tersebut maka model dianggap sudah baik karena mendekati nilai 100%.

### 3.5. Uji Koefisien Secara Serentak

Kriteria penerimaan dari pengujian koefisien regresi secara serentak dalam Minitab dilihat pada Nilai  $P_{value}$  yang terdapat pada tabel ANAVA *output* Minitab. Bila  $P_{value} < \alpha$  maka  $H_0$  ditolak dan bila  $P_{value} > \alpha$  maka  $H_0$  diterima. Seperti pada gambar 7 berikut :

**Analysis of Variance for HASIL KEKASARAN**

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	1,10290	1,10290	0,18382	5,23	<b>0,018</b>
Linear	3	0,36753	0,60739	0,20246	5,76	0,021
Interaction	3	0,73537	0,73537	0,24512	6,98	0,013
Residual Error	8	0,28110	0,28110	0,03514		
Lack-of-Fit	6	0,25631	0,25631	0,04272	3,45	0,242
Pure Error	2	0,02479	0,02479	0,01240		
Total	14	1,38401				

**Gambar 7.** Uji Koefisien Secara Serentak

Dari gambar *output* tersebut dapat dilihat nilai  $P_{value}$  dari regresi adalah 0,018 yang berarti lebih kecil dari nilai signifikansi ( $\alpha$ ) yaitu 0,05 maka dapat ditulis  $P_{value} < \alpha$  sehingga  $H_0$  ditolak yang berarti model dapat diterima secara statistik dan terdapat variabel yang mempengaruhi kekasaran permukaan.

### 3.6. Uji Koefisien Regresi Individu

Kriteria penerimaan bila  $P_{value} < \alpha$  maka  $H_0$  ditolak dan bila  $P_{value} > \alpha$  maka  $H_0$  diterima. Seperti pada gambar 8 berikut :

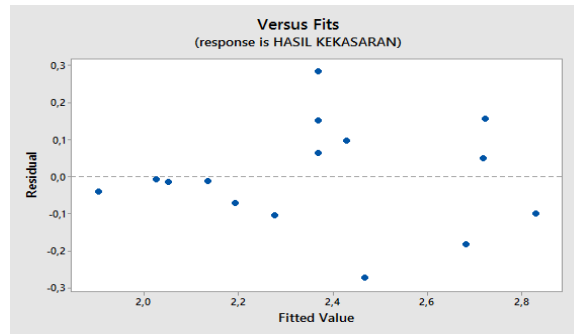
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4,87398	13,0791	0,373	0,719
LASER POWER (X1)	-0,29413	0,1466	-2,007	0,080
CUTTING SPEED (X2)	-0,25104	0,6015	-0,417	0,687
<b>NOZZLE DISTANCE (X3)</b>	<b>2,58083</b>	<b>2,0598</b>	<b>1,253</b>	<b>0,024</b>
<b>LASER POWER (X1)*CUTTING SPEED (X2)</b>	<b>0,02025</b>	<b>0,0047</b>	<b>4,321</b>	<b>0,003</b>
LASER POWER (X1)* NOZZLE DISTANCE (X3)	-0,01750	0,0187	-0,934	0,378
CUTTING SPEED (X2)* NOZZLE DISTANCE (X3)	-0,11028	0,0937	-1,177	0,273

**Gambar 8.** Pehitungan Minitab Pengujian Koefisien Regresi Individu

Dari gambar 8 dapat diketahui bahwa dari parameter – parameter tersebut ada dua parameter yang mempengaruhi yaitu parameter *Nozzle Distance* dan Interaksi *Laser Power* dan *Cutting Speed* dengan nilai  $P_{value}$  sebesar 0,024 dan 0,003 dan nilai tersebut lebih kecil dari  $\alpha$  (0,05) sehingga dapat ditulis  $P_{value} < \alpha$  atau  $H_0$  ditolak atau terdapat variabel yang mempengaruhi kekasaran permukaan.

### 3.7. Uji Asumsi Identik

Uji Asumsi identik dapat diketahui dengan plot antara residual dengan  $\hat{y}$  estimasi. Apabila dalam plot tersebut tidak menunjukkan kecenderungan naik atau turun (nilai residual menyebar secara acak) maka dapat dikatakan bahwa residual bersifat identik. Seperti pada gambar 9 berikut :

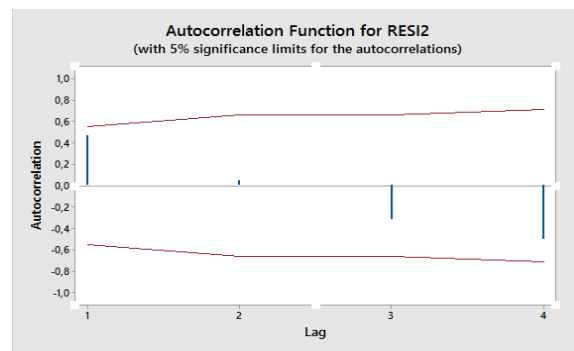


**Gambar 9.** Nilai Uji Asumsi Identik

Dari gambar 9 dapat dijelaskan bahwa nilai residual menyebar secara acak tidak cenderung naik atau turun sehingga residual bersifat identik.

### 3.8. Uji Asumsi Independen

Uji independen dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya ketergantungan diantara residual yang ada. Bila ada, maka plot residual dengan  $\hat{y}$  estimasi akan menunjukkan penyebaran yang tidak merata. Hasil pengujian independen bila tidak terdapat lag yang keluar dari batas signifikan menunjukkan bahwa asumsi independen terpenuhi. Sesuai gambar 10 berikut.



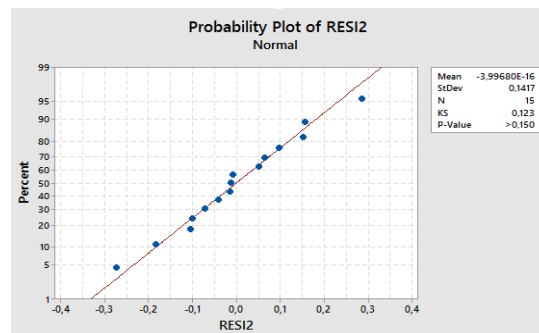
**Gambar 10.** Pengujian Asumsi Independen

### 3.9. Uji Distribusi Normal

Pengujian residual distribusi normal pada penelitian ini menggunakan uji *kolmogorov-smirnov*, dengan hipotesisnya adalah sebagai berikut.

- $H_0$  : Residual berdistribusi normal
- $H_1$  : Residual tidak berdistribusi normal

Taraf signifikansi ( $\alpha$ ) yang dipakai adalah 0,05. Hasil Uji distribusi dapat dilihat pada gambar 11 berikut.



**Gambar 11.** Uji Distribusi Normal

Dari gambar 11 menunjukkan bahwa pengujian *Kolmogorov-smirnov* menghasilkan  $P_{\text{value}}$  sebesar 0,150. Hal ini menunjukkan bahwa  $P_{\text{value}}$  lebih besar dari  $\alpha$  sehingga keputusan adalah  $H_0$  diterima maka berarti residual berdistribusi normal.

### 3.10. Optimasi Respon

Optimasi bertujuan untuk menemukan pengaturan parameter – parameter *laser cutting* dan mendapatkan hasil kekasaran yang optimum dengan Lingo 11 seperti pada gambar 12 berikut .

```

Feasible solution found.
Infeasibilities:          0.000000
Total solver iterations: 0

Variable      Value
X1            55.000000
X2            22.000000
X3             6.500000

Row  Slack or Surplus
 1      20.000000
 2       0.000000
 3       4.000000
 4       0.000000
 5       1.000000
 6       0.000000

```

**Gambar 12.** Hasil parameter optimum *laser cutting*

Berdasarkan Gambar 6 dapat disimpulkan bahwa konfigurasi parameter *laser cutting* yang optimal adalah

- a. *Laser Power* : 55 W
- b. *Cutting Speed* : 22 mm/s
- c. *Nozzle Distance* : 6,5 mm.

Dari pengaturan parameter – parameter *laser cutting* yang telah ditemukan, hasil kekasaran yang optimum adalah sebesar **1,93  $\mu\text{m}$**  hal ini berdasarkan uji konfirmasi eksperimen yang telah dilakukan.

### 3.11. Presentase Parameter yang Berpengaruh

Hasil analisa yang telah dilakukan menunjukkan bahwa parameter interaksi *Laser Power* dan *Cutting Speed* serta parameter *Nozzle Distance* berpengaruh terhadap model hal ini berdasarkan dengan melihat nilai  $F_{\text{hitung}}$  dan  $P_{\text{value}}$  yang telah dihitung dan memenuhi syarat penerimaan hipotesa. Namun untuk melihat nilai prosentase pengaruh dari masing - masing parameter terhadap model dapat diketahui sebagai berikut :

$$\%_{\text{Parameter}} = \frac{SSR_p}{SS_T}$$

Untuk nilai  $SSR_{\text{Parametrik}}$  dari parameter yang berpengaruh dapat dicari dengan Minitab dengan hasil sebagai berikut :

```

Analysis of Variance

Source          DF  Adj SS
Model           2  1,38907
  Linear        1  0,55270
    NOZZLE DISTANCE (X3)  1  0,55270
  2-Way Interaction  1  0,83637
    LASER POWER (X1)*CUTTING SPEED (X2)  1  0,83637
Total          14  1,38401

```

**Gambar 13.** Output Minitab  $SSR_{\text{Parametrik}}$  Parameter yang Berpengaruh

Setelah diketahui nilai  $SSR_{\text{Parametrik}}$  dari parameter – parameter yang berpengaruh maka dapat dicari nilai prosentase sebagai berikut :

$$\%_{Nozzle\ Distance} = \frac{0,55270}{1,38401} = 0,40 \text{ atau } \mathbf{40\%}$$

Dari perhitungan tersebut didapatkan nilai prosentase pengaruh dari parameter *Nozzle Distance* terhadap model adalah sebesar **40%**

$$\%_{Int. LP*CS} = \frac{0,83637}{1,38401} = 0,60 \text{ atau } \mathbf{60\%}$$

Dari perhitungan tersebut didapatkan nilai prosentase pengaruh dari parameter interaksi *Laser Power* dan *Cutting Speed* terhadap model adalah sebesar **60%**.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Konfigurasi parameter yang optimum pada proses pemotongan material *acrylic* dengan *Laser Cutting* adalah *Laser Power* : 55W, *Cutting Speed* : 22 mm/s dan *Nozzle Distance* : 6,5 mm dengan nilai kekasaran sebesar 1,93  $\mu\text{m}$ . Hasil parameter sudah optimum karena hasil uji eksperimen konfirmasi menunjukkan bahwa konfigurasi parameter yang telah dihitung menghasilkan nilai kekasaran yang sama dengan Y optimum atau 1,93  $\mu\text{m}$ .
2. Hasil analisa menunjukkan bahwa parameter interaksi *Laser Power* dan *Cutting Speed* serta *Nozzle Distance* memiliki pengaruh dalam proses pemotongan material *acrylic* dengan *Laser Cutting*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai  $P_{\text{value}}$  dari parameter interaksi *Laser Power* dan *Cutting Speed* sebesar 0,003 dan  $P_{\text{value}}$  dari parameter *Nozzle Distance* sebesar 0,024 dimana kedua nilai tersebut kurang dari taraf signifikansi ( $\alpha$ ) sebesar 0,05 sehingga memenuhi syarat penerimaan hipotesa. Nilai prosentase pengaruh dari parameter interaksi *Laser Power* dan *Cutting Speed* adalah sebesar **60%**, sedangkan untuk parameter *Nozzle Distance* adalah sebesar **40%**.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Montgomery, Douglas (1991) *Probability and Statistic in Engineering and Management Science*. John Willey & Sons, Inc. University of Maryland.
- Prihadianto, BD (2015) **Optimasi Parameter Pemotongan Polymethyl Methacrylate pada Mesin Laser Cutting CO<sup>2</sup>**. Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada Jogjakarta.
- Purwanti, E. P. dan Pilarain, F. (2012). **Optimasi Parameter Proses Pemotongan Stainless Steel SUS 304 untuk Kekasaran Permukaan dengan Metode Response Surface**. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Riskita, R. (2014), **Optimasi Parameter Mesin Laser Cutting Terhadap Kekasaran dan Laju Pemotongan pada SUS 316L Menggunakan Taguchi Grey Relational Analysis Method**. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Rochim, T. (2001). **Proses Pemesinan**. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Sato, G. Takeshi dan N. Sugiarto H. (1994). **Kekasaran Permukaan pada Material**. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Vira, S. (2014), **Analisa Pengaruh Tekanan Gas Cutting, Cutting Speed, Laser Power dan Nozzle Distance Pada Pemotongan St. 37 Terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Mesin Laser Cutting dengan Metode Taguchi**. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya