

OPTIMASI PARAMETER EDM SINKING PADA MATERIAL BAJA SKS3 MENGUNAKAN METODE *RESPONSE SURFACE*

Isanda Ika Damayanti ^{1*}, Bayu Wiro Karuniawan ², Farizi Rachman ³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: disandaika@gmail.com^{1*}; bayuwiro@ppns.ac.id²; farizirachman@ppns.ac.id³

Abstract – The material of the workpiece is one of the non-electrical parameters that affect the performance of EDM Sinking. SKS-3 steel is a steel with a high carbon class and in its application this material is commonly used for products for making bending die, sizing and stamping tools for medium run, and cutting blades. In this study using the response surface method with 15 run orders and 3 replications by applying Box-Behnken Design for research experiment design and ANOVA to analyze data. Based on the results of the analysis, it was found that the optimal combination of parameters was Pulse current 7.29293 A, Pulse on time 5.34343 (μ s), and Pulse off time 3 (μ s). To produce optimal dies products, the factors studied are the influence of process variables such as pulse current, on time, and off time on the material removal rate and surface roughness in the machining process using EDM Sinking and to determine the right combination variable settings of process parameters such as pulse current, on time, and off time in order to produce products with optimal material removal rate and surface roughness in the process EDM Sinking.

Keyword: EDM Sinking, Material Removal Rate, Response Surface, Surface Roughness

Nomenclature

MRR	Material Removal Rate
SR	Surface Roughness
(μs)	satuan Pulse On time dan Pulse Off time
A	satuan Pulse Current

1. PENDAHULUAN

Electrical Discharge Machining (EDM) Sinking adalah salah satu mesin perkakas non-konvensional yang proses pemotongan material benda kerjanya berupa erosi yang terjadi karena adanya sejumlah loncatan bunga api listrik secara periodik di dalam cairan dielektrik. EDM Sinking dilakukan pada produk pengerjaan *finishing*, produk dengan bentuk yang kompleks dan permintaan akurasi yang tinggi dalam industri pembuatan *dies*, mobil serta pembuatan komponen *Aerospace*.

Dalam meningkatkan kualitas produk yang baik pada *dies* maka material benda kerja diharuskan untuk mencapai kekerasan dan kehalusan permukaan yang tinggi. Sehingga dapat dilakukan proses *hardening* pada material sampai kekerasan mencapai 55-60 HRC.

Dalam mencapai kinerja pemesinan yang optimal pada proses EDM *sinking*, diperlukan adanya pemilihan pada parameter-parameter prosesnya. Jumlah loncatan bunga api pada proses pemakanan sesuai kedalaman tergantung dari durasi dan besarnya energi yang ada di setiap loncatan bunga api listrik. Jangka waktu loncatan bunga api dalam EDM *sinking* dapat diubah dengan menyesuaikan nilai *on time* dan *off time*, sedangkan besarnya energi yang dikeluarkan

pada tiap loncatan dapat diubah dengan mengatur *pulse current* dan tegangan listrik

Seiring berkembangnya penelitian mengenai EDM Sinking ditemukan bahwa proses pemesinan bukan hanya mengenai pengaruh variabel proses terhadap variabel respon, namun juga optimasi pada parameter-parameter lain yang digunakan. Optimasi dilakukan untuk mendapatkan kombinasi variabel proses pemesinan EDM *sinking* yang tepat sehingga menghasilkan respon yang optimum. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk optimasi pada proses pemesinan adalah *response surface methodology* (RSM), metode Taguchi, *artificial neural network* (ANN) dan *genetic algorithm* (GA) [1]

Oleh karena itu, penelitian ini membahas tentang analisis laju pengerjaan material dan kekasaran permukaan dengan EDM Sinking yang tujuannya digunakan sebagai bahan referensi pada penelitian selanjutnya tentang pengembangan EDM Sinking.

Proses analisis digunakan untuk mencari produk dengan laju pengerjaan material yang maksimum, kekasaran permukaan yang minimum, dan kombinasi parameter yang tepat. Material yang digunakan pada penelitian ini yaitu Baja SKS-3 dengan variabel bebas yang diteliti yaitu *pulse current*, *pulse on time* dan *pulse off time*.

2. METODOLOGI

Tahapan penelitian dilakukan berdasarkan diagram alir di bawah ini agar penelitian lebih terarah sesuai dengan tujuan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Penentuan Variabel Respon dan Variabel Bebas

a. Variabel Respon

1. Material Removal Rate

Material Removal Rate dipilih menjadi salah satu variabel respon dikarenakan Material Removal Rate sangat berpengaruh terhadap efisiensi waktu dalam proses pembentukan produk sehingga, semakin kecil laju pengerjaan material maka semakin efisien terhadap waktu

2. Surface Roughness

Kekasaran permukaan dipilih menjadi salah satu variabel respon dikarenakan sangat berpengaruh terhadap kualitas produk sehingga, semakin kecil nilai kekasaran maka semakin baik kualitas produk.

b. Variabel Bebas

1. Pulse Current

Pulse Current merupakan arus yang digunakan dalam proses pemakanan yang dapat diatur besar nilainya untuk proses EDM Sinking.

2. Pulse On Time

Pulse On Time merupakan durasi saat material elektroda dipanaskan oleh saluran plasma suhu tinggi.

3. Pulse Off Time

Pulse Off Time adalah durasi ketika tidak ada arus dan terjadi deionisasi pada cairan dielektrik sehingga memulihkan sifat isolasi.

2.2 Rancangan Percobaan

Pada penelitian ini variabel respon terdiri dari laju pengerjaan material (MRR), dan kekasaran permukaan (SR). MRR dihitung berdasarkan banyaknya berat benda yang hilang selama waktu proses pemesinan, [2] MRR dihitung menggunakan persamaan (1)

$$MRR = \frac{W_{wb} - W_{wa} (g)}{t} \quad (1)$$

W_{wa} dan W_{wb} adalah berat benda kerja sebelum dan sesudah proses pemesinan (gram) sedangkan t merupakan waktu proses pemesinan (menit). Kekasaran permukaan didefinisikan dengan penyimpangan rata-rata aritmatika (Ra) yang merupakan jumlah rata-rata puncak tertinggi dan terendah dari setiap gelombang yang diukur pada panjang tertentu [3] Pada penelitian ini, nilai untuk variabel pemesinan pada setiap level ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1: Variabel Bebas

Variabel Bebas	Level -1	Level 0	Level 1
Pulse Current (A)	6	7	8
Pulse On time (μs)	5	6	7
Pulse Off time (μs)	3	4	5

Berdasarkan desain eksperimen Box Behnken Design dengan 3 jenis variabel bebas dan 2 variabel respon yang diteliti, maka dilakukan 15 run order 3 kali replikasi

Tabel 2: Rancangan Percobaan

Eksperimen ke-	Variabel Bebas		
	Pulse Current (A)	On time (μs)	Off time (μs)
1	6	5	4
2	8	5	4
3	6	7	4
4	8	7	4
5	6	6	3
6	8	6	3
7	6	6	5
8	8	6	5
9	8	5	3
10	7	7	3
11	7	5	5
12	7	7	5
13	7	5	4
14	7	5	4
15	7	5	4

2.3 Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang diperlukan seperti mesin furnace untuk melakukan proses hardening pada spesimen sebelum proses EDM Sinking. Pada penelitian ini, mesin furnace yang digunakan dengan merek Linn Elektro Therm yang mempunyai temperatur maksimum sebesar 1300°C. Selanjutnya, menggunakan mesin surface grinding untuk meratakan permukaan spesimen benda kerja setelah dilakukan proses hardening dan sebelum proses pemesinan EDM Sinking dan mesin EDM sinking yang digunakan adalah EDM Sinking milik CV. Kataba Precision dengan merek TOP EDM

dengan seri DX-6530. Untuk pengujian, timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram, dan *surface roughness tester* mitutoyo SJ 310. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain Baja SKS-3 sebagai benda kerja dengan dimensi 25 mm × 25 mm × 19 mm, elektroda tembaga dengan dimensi permukaannya 13 mm×13 mm.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengambilan dan Pengolahan Data

Tahapan pengambilan data pada penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu, pengambilan data laju pengerjaan material dan kekasaran permukaan. Selanjutnya tahap pengolahan data diawali dengan perhitungan rata-rata dari ketiga replikasi. Tabel 3 di bawah ini merupakan rangkuman data perhitungan rata-rata dari setiap kombinasi pada masing-masing variabel respon.

Tabel 3: Data Mean Percobaan

Kombina si	LPM	SR
1	0.008	3.47
2	0.04	6.45
3	0.007	3.17
4	0.037	6.15
5	0.008	3.25
6	0.043	5.96
7	0.006	3.22
8	0.032	5.92
9	0.039	5.68
10	0.019	4.43
11	0.019	4.31
12	0.021	4.41
13	0.022	4.43
14	0.021	4.41
15	0.019	4.43

3.2 Analisis Data Laju Pengerjaan Material

A. Surface Regression

Hasil data rata-rata dari percobaan dianalisis menggunakan *software* minitab. Pengujian pertama dilakukan analisis *surface regression* untuk mengetahui pengaruh parameter terhadap respon. *Interval confidence* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,05, agar parameter dinyatakan berpengaruh maka nilai dari P_{value} harus kurang dari α . *Output* dari *minitab* dapat diketahui bahwa nilai P_{value} pada parameter *Pulse current* adalah 0,000 yang berarti parameter ini memiliki pengaruh terhadap respon

Tabel 4: Data *Surface Regression*

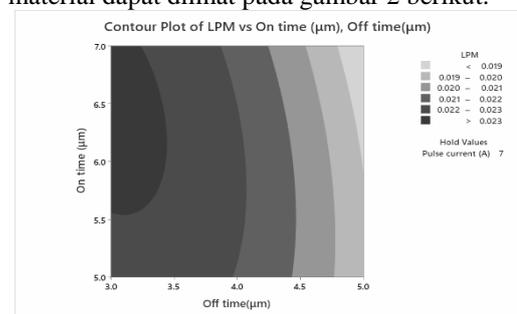
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F- Value	P- Value
Regression	3	0.00218	0.00072	189.7	0.000
		7	9	6	
Pulse current (A)	1	0.00200	0.00200	522.6	0.000
		8	8	1	
On time (μs)	1	0.00000	0.00000	0.22	0.650
		1	1		
Off time(μs)	1	0.00005	0.00005	13.27	0.004
		1	1		
Error	11	0.00004	0.00000		
		2	4		
Lack-of-Fit	9	0.00004	0.00000	6.99	0.131
		1	5		

Pure Error	2	0.00000	0.00000
		1	1
Total	14	0.00222	9

Pada parameter *Pulse on time* memiliki nilai P_{value} 0.650 yang berarti nilai P_{value} dari *Pulse on time* $> \alpha$, sehingga parameter *Pulse on time* tidak memiliki pengaruh terhadap respon. Sedangkan parameter *Pulse off time* memiliki nilai P_{value} 0,004; maka parameter ini memiliki pengaruh terhadap respon karena $P_{value} < \alpha$.

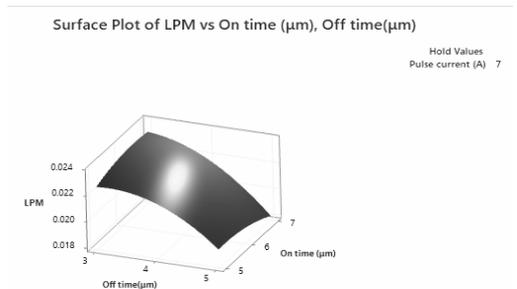
B. Contour and Surface Plot

Pada setiap *contour* memiliki warna dan ukuran yang berbeda sesuai respon yang dihasilkan. Sedangkan *surface plot* merupakan proyeksi dari *contour plot* dalam bentuk 3 dimensi. Hasil *output contour plot* variabel respon terhadap laju pengerjaan material dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Contour Plot Presentase LPM

Pada gambar 2 *contour plot* menunjukkan kontur melengkung karena model mengandung istilah kuadrat yang signifikan secara statistik.



Gambar 3. Surface Plot LPM

Pada gambar 3 menunjukkan bahwa konfigurasi parameter yang menghasilkan respon tertinggi ada pada *setting pulse on time* 5-6 μs dengan *pulse off time* kurang dari 3 μs.

C. Uji Koefisien Determinan Berganda (R^2) pada LPM

Nilai koefisien determinan berganda (R^2) berada pada rentang 0–100%. Apabila nilai koefisien determinan berganda (R^2) semakin mendekati 100, maka model tersebut semakin baik. Uji koefisien determinan didapat dari nilai R-sq. Tabel 4.11 menunjukkan hasil analisis model pada *software* minitab sebagai berikut:

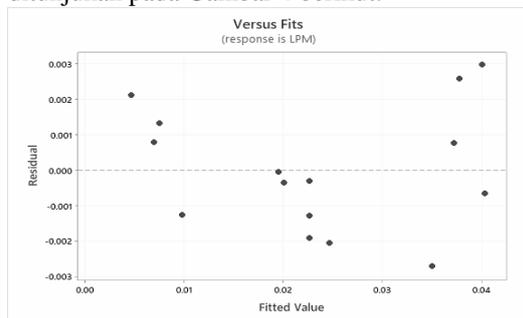
Tabel 5: Model Summary LPM

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0017	99.33%	98.12%	88.06%

Tabel 5 menunjukkan bahwa pada penelitian ini didapatkan hasil nilai kesesuaian model pada respon laju pengerjaan material ini adalah 99.33% yang berarti model memiliki nilai persentase yang mendekati 100% sehingga model tergolong sebagai model yang baik.

D. Uji Asumsi Identik

Uji Asumsi dapat diketahui dengan membuat plot antara residual dengan \hat{y} estimasi. Apabila pada plot tersebut tidak menunjukkan naik atau turun (nilai residual menyebar secara acak) maka dapat diartikan bahwa residual bersifat identik. Hasil analisis identik ditunjukkan pada Gambar 4 berikut:

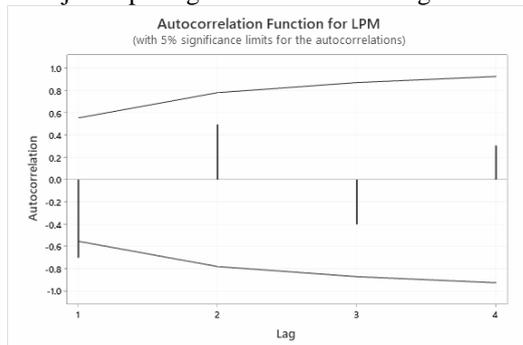


Gambar 4. Residual-fitted value Presentase LPM

Pada gambar 4 menunjukkan bahwa gambar terdistribusi dengan titik-titik data menyebar disekitar garis diagonal dan penyebaran titik-titik data searah mengikuti garis diagonal dengan nilai residual menyebar secara acak tidak cenderung naik maupun turun sehingga residual bersifat identik.

E. Uji Asumsi Independen

Hasil dari pengujian independen jika tidak terdapat lag yang keluar dari batas signifikan menunjukkan bahwa asumsi independen terpenuhi. Sedangkan yang ditunjukkan pada gambar 5 adalah sebagai berikut:

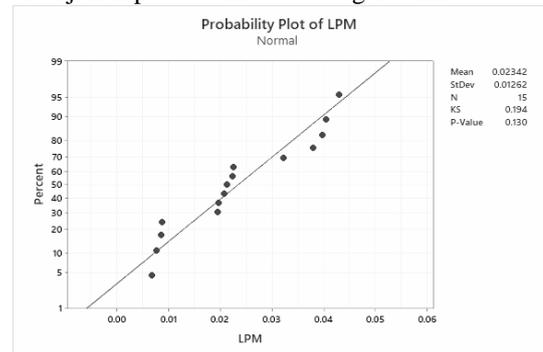


Gambar 5. Uji Asumsi Independen Respon LPM

Pada gambar 5 menunjukkan bahwa terdapat lag (garis berwarna biru) yang melewati batas signifikan (garis berwarna merah) sehingga asumsi independen tidak terpenuhi.

F. Uji Distribusi Normal

Nilai α (taraf signifikansi) yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,05. Hasil dari uji distribusi ditunjukkan pada Gambar 6 sebagai berikut:



Gambar 6.. Uji Distribusi Normal LPM

Seperti yang telah tertera pada Gambar 6 bahwa pengujian Kolmogorov-smirnov menghasilkan P_{value} sebesar 0,130. Sehingga dapat menunjukkan bahwa nilai P_{value} lebih besar dari α sehingga keputusan yang dapat diambil adalah H_0 diterima yang berarti residual berdistribusi normal.

3.3 Analisis Data Kekasaran Permukaan

A. Surface Regression

Interval confidence (α) yang digunakan adalah 5% atau 0.05, maka diperhatikan nilai P_{value} yang terdapat pada setiap parameter. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6: Surface Regression Kekasaran Permukaan

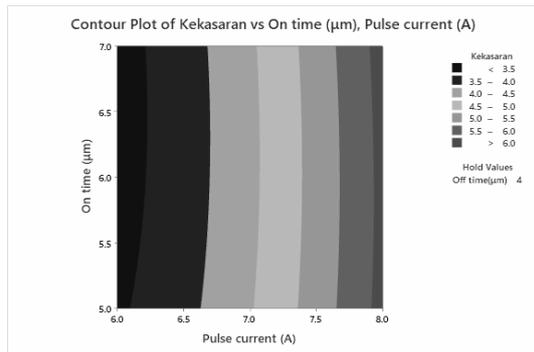
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	17.222	5.7408	102.2	0.000
		3		9	
Pulse current (A)	1	16.803	16.803	299.4	0.000
		8		8	
On time (μ s)	1	0.0019	0.0019	0.03	0.858
Off time(μ s)	1	0.0008	0.0008	0.01	0.908
Error	11	0.6173	0.0561		
Lack-of-Fit	9	0.6167	0.0685	229.3	0.004
				6	
Pure Error	2	0.0006	0.0003		
Total	14	17.839			
				6	

Pada Tabel 6 dapat diketahui bahwa pada parameter Pulse current (A) memiliki nilai P_{value} 0.000 yang berarti bahwa parameter tersebut kurang dari nilai α sehingga dapat diartikan Pulse current (A) memiliki pengaruh terhadap respon. Pada parameter Pulse on time memiliki nilai P_{value} 0.858 yang berarti nilai $P_{value} > \alpha$ sehingga parameter Pulse on time tidak memiliki pengaruh terhadap respon. Sama halnya dengan pulse on time parameter pulse off time juga memiliki nilai α lebih kecil daripada P_{value} . Dengan memiliki nilai 0.908 sehingga parameter pulse off time tidak memiliki pengaruh terhadap respon.

B. Contour and Surface Plot

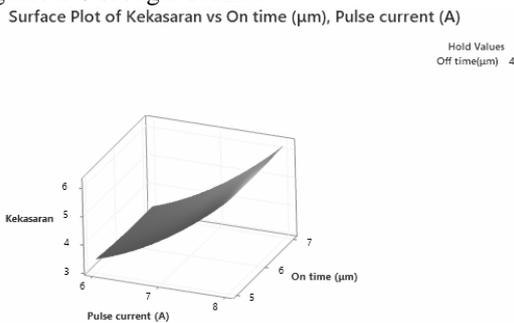
Pada analisis ini diasumsikan pulse off time dianggap konstan dengan pengujian yang terfokus kepada pulse current dan pulse on time, dengan nilai

pulse off time konstan maka dapat dilihat bagaimana pengaruh kedua parameter terhadap respon.



Gambar 7. Contour Plot Presentase Respon Kekasaran Permukaan

Pada gambar 7 *contour plot* dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai *pulse current* maka semakin besar tingkat kekasaran permukaan material. Sedangkan untuk *surface plot* didapatkan kesimpulan bahwa semakin besar pengaturan parameter *pulse current* yang diberikan akan memberikan respon kekasaran permukaan yang semakin besar juga. Seperti pada gambar 8 sebagai berikut



Gambar 8. Surface Plot Persentase Kekasaran Permukaan

Pada gambar 8 menunjukkan bahwa konfigurasi parameter yang menghasilkan respon tertinggi ada pada *setting pulse current* level ketiga dengan nilai 8A, dengan *pulse on time* pada level ketiga *setting parameter*. Dengan pengaturan tersebut dapat menghasilkan kekasaran permukaan 6.15558333.

C. Uji Koefisien Determinan Berganda (R^2) pada Respon Kekasaran Permukaan

Nilai koefisien determinan berganda (R^2) berada pada rentang 0 – 100%. Apabila nilai koefisien determinan berganda (R^2) semakin mendekati 100, maka model tersebut semakin baik. Uji koefisien determinan didapat dari nilai R-sq. Tabel 7 menunjukkan hasil analisis model pada *software minitab* sebagai berikut:

Tabel 7: Model Summary SR

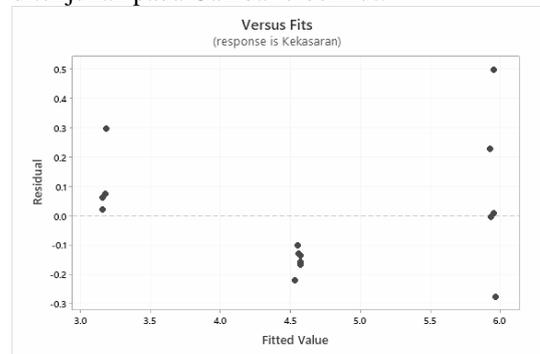
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.18946	98.99%	97.18%	83.05%
7			

Tabel 7 menunjukkan bahwa pada penelitian ini didapatkan hasil nilai R-sq pada respon kekasaran

permukaan yaitu 98.99% yang berarti memiliki nilai persentase yang mendekati 100% sehingga model yang digunakan sudah tergolong sebagai model yang baik.

D. Uji Asumsi Identik

Uji Asumsi dapat diketahui dengan membuat plot antara residual dengan \hat{y} estimasi. Hasil analisis identik ditunjukkan pada Gambar 7 berikut:

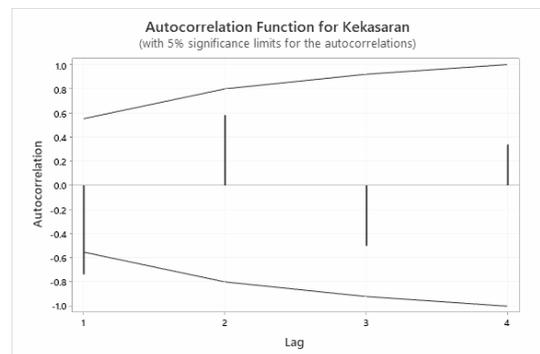


Gambar 9. Residual-fitted value Presentase KP

Pada gambar 9 menunjukkan bahwa bahwa nilai residual cenderung naik maupun turun sehingga residual tidak memenuhi asumsi identik

E. Uji Asumsi Independen

Hasil dari pengujian independen jika tidak terdapat lag yang keluar dari batas signifikan menunjukkan bahwa asumsi independen terpenuhi. Sedangkan yang ditunjukkan pada gambar 10 adalah sebagai berikut:

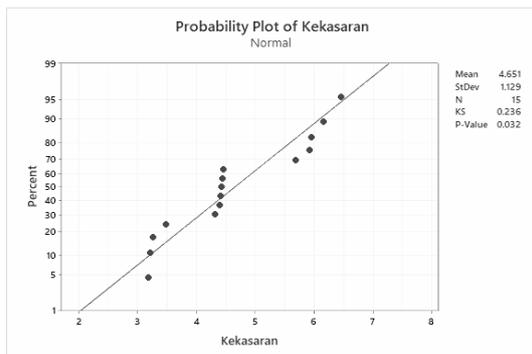


Gambar 10. Uji Asumsi Independen Respon KP

Pada gambar 10 menunjukkan menunjukkan bahwa terdapat lag (garis berwarna biru) yang melewati batas signifikan (garis berwarna merah) sehingga asumsi independen tidak terpenuhi.

F. Uji Distribusi Normal

Nilai α (taraf signifikansi) yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,05. Hasil dari uji distribusi ditunjukkan pada Gambar 9 sebagai berikut:

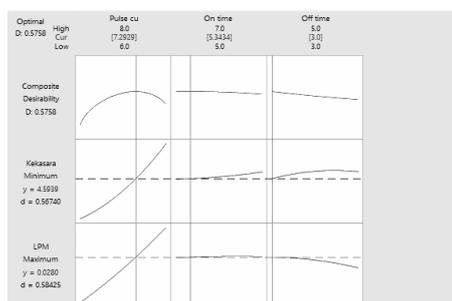


Gambar 11. Uji Distribusi Normal KP

Pada Gambar 11 menunjukkan bahwa pengujian *Kolmogorov-smirnov* menghasilkan P_{value} sebesar 0,032. Sehingga dapat menunjukkan bahwa nilai P_{value} lebih kecil dari α sehingga keputusan yang dapat diambil adalah H_0 ditolak yang berarti residual tidak berdistribusi normal. Akibat dari residual tidak berdistribusi normal adalah karena data yang terdapat pada pengujian respon kekasaran permukaan ini memiliki nilai angka mendekati nol (0).

3.4 Optimasi Respon

Optimasi respon dilakukan dengan menggunakan pendekatan *desirability* untuk mendapatkan nilai parameter yang diteliti yaitu *pulse current*, *pulse on time* dan *pulse off time* yang optimal.



Gambar 12. Hasil Response Optimization Software Minitab

Berdasarkan hasil input data *software* minitab didapatkan kombinasi parameter yang optimal pada gambar 12 dengan kombinasi *pulse current* 7.29293 A, *pulse on time* 5.34343 (μ s), dan *pulse off time* 3 (μ s).

4. KESIMPULAN

1. Pada penelitian ini menggunakan *interval confidence* (α) 5% atau 0,05, dengan nilai α tersebut pada respon laju pengerjaan material terdapat dua parameter yang memiliki pengaruh, yaitu parameter *pulse current* dengan nilai P_{value} 0,000 dan parameter *pulse off time* dengan nilai P_{value} 0,004. Parameter tersebut dinyatakan berpengaruh karena memiliki nilai $P_{value} < \alpha$, sehingga dapat memenuhi syarat penerimaan hipotesis. Sedangkan pada parameter *pulse on time* memiliki nilai P_{value} 0,650 yaitu melebihi nilai (α), sehingga parameter *pulse on time* tidak memiliki pengaruh terhadap respon laju pengerjaan material.

2. Pada respon kekasaran permukaan terdapat satu parameter yang memiliki pengaruh terhadap respon, yaitu parameter *pulse current* dengan nilai P_{value} 0.000 atau $P_{value} < \alpha$, sehingga parameter *pulse current* dinyatakan memenuhi syarat penerimaan hipotesis dan dapat dinyatakan bahwa parameter tersebut memiliki pengaruh terhadap respon kekasaran permukaan. Untuk parameter *pulse on time* dan *pulse off time* memiliki nilai P Value yang lebih dari α , sehingga dinyatakan parameter tersebut tidak memiliki respon terhadap terhadap kekasaran permukaan.
3. Kombinasi parameter yang optimum dicari dengan melakukan analisis *response optimization* untuk mendapatkan konfigurasi yang tepat dari tiga parameter secara bersamaan. Dari hasil analisis didapati kombinasi parameter yang optimal adalah sebagai berikut: *Pulse current* 7.29293 A, *Pulse on time* 5.34343 (μ m), dan *Pulse off time* 3 (μ m)

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada keluarga, dosen pembimbing, teman-teman dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah berkontribusi baik moril maupun materiil dalam penyelesaian penulisan artikel.

6. PUSTAKA

- [1] Mukherjee, I., & Ray, P. K. (2006). A review of optimization techniques in metal cutting processes. *Computers and Industrial Engineering*, 50(1–2), 15–34.
- [2] Srinivasan, V. P., Selvarajan, L., & Palani, P. K. (2018). Experimental investigation on electrical discharge machining of ceramic composites using RSM. *International Journal of Computational Materials Science and Surface Engineering*, 7(2), 104.
- [3] Mekar Bisono, R., Soepangkat, B. O., & Carolina K A, H. (2015). *Optimasi Multi Respon Pada Proses Electrical Discharge Machining (EDM) Sinking Material Baja Perkakas Dac Dengan Menggunakan Metode Taguchi-Grey-Fuzzy* [JURUSAN TEKNIK MESIN]. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.