



PENGARUH PARAMETER PROSES *EDM DIE SINKING* TERHADAP LAJU PELEPASAN BAHAN DAN LAJU KEAUSAN ELEKTRODA

Effect of EDM Die Sinking Process Parameters on Material Removal Rate (MRR) and Tool Wear Rate (TWR)

Nafsan Upara^{1*} dan Dimas Anugrah Destianto¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Srengseng Sawah Jakarta Selatan, Indonesia

Informasi artikel

Diterima: 20/05/2019

Direvisi : 25/05/2019

Disetujui: 27/05/2019

Abstrak

Electrical Discharge Machining (EDM) merupakan pemesinan nonkonvensional yang memanfaatkan proses konversi listrik dan panas, dimana energi listrik digunakan untuk memunculkan loncatan bunga api dan proses pelepasan bahan terjadi akibat energi panas yang ditimbulkan dari bunga api tersebut. Keausan elektroda pada proses *EDM die sinking* merupakan peristiwa yang tidak dapat di hindari, namun dengan mengatur parameter pemotongan yang sesuai, diharapkan keausan yang terjadi pada elektroda se-minim mungkin dan pemakanan benda kerja semaksimal mungkin sehingga didapati tingkat akurasi ukuran pada benda kerja. Pada penelitian ini menggunakan metode Taguchi dengan L8 orthogonal array memakai elektroda bahan tembaga dan benda kerja material SKS 3. S/N ratio dan ANOVA menentukan performa parameter proses EDM dengan respon yang di teliti adalah Material Removal Rate (MRR) dan Tool Wear Rate (TWR). Hasil dari eksperimen tersebut menghasilkan parameter optimum $I_{level 2} = 6 \text{ A}$; $P_{on level 1} = 100 \mu\text{s}$ dan $P_{off level 1} = 50 \mu\text{s}$.

Kata Kunci: *EDM die sinking*, TWR, MRR, Taguchi, ANOVA.

Abstract

Electrical Discharge Machining (EDM) is a non-conventional machining that utilizes electricity and heat conversion processes, where electrical energy is used to generate sparks and the process of material removal occurs due to heat energy generated from these sparks. Electrode wear in the *EDM die sinking* process is an unavoidable event, but by adjusting the cutting parameters accordingly, it is expected that wear and tear on the electrodes is as minimal as possible and the workpiece feedings are maximized so that a level of accuracy in the workpiece is found. In this study using the Taguchi method with L8 orthogonal array used copper material electrodes and SKS 3 workpiece material. The S N ratio and ANOVA determine the performance parameters of the EDM process with the response being examined are Material Removal Rate (MRR) and Tool Wear Rate (TWR). The results of these experiments produce optimum parameters at $I_{level 2} = 6 \text{ A}$; $P_{on level 1} = 100 \mu\text{s}$ dan $P_{off level 1} = 50 \mu\text{s}$.

Keywords: *EDM die sinking*, TWR, MRR, Taguchi, ANOVA.

*Penulis Korespondensi: Handphone : 0811 409 276
email : nafsan@univpancasila.ac.id

1. PENDAHULUAN

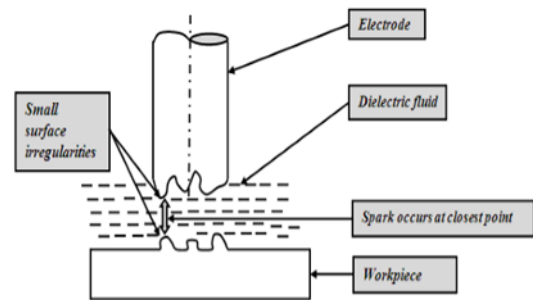
Teknologi EDM banyak digunakan di industri manufaktur, dirgantara, otomotif, dan peralatan medis (Newman, 2003) untuk *die, punch, mould*, dan komponen akhir proses permesinan bahan yang sangat kuat dan keras (*tool steel*) maupun baja yang dikeraskan dengan menghasilkan produk yang mempunyai kepresisian yang tinggi, bentuk yang rumit, dan kualitas permukaan yang baik (Kuldeep et al., 2010).

Ada banyak parameter proses seperti lama pengerjaan, kuat arus, tegangan, *pulse on time* (P_{on}), *pulse off time* (P_{off}), cairan dielektrik dan ukuran dan bahan elektroda maupun benda kerja yang mempengaruhi kualitas hasil produk antara lain pada kualitas mekanis dari bahan benda kerja dan elektroda yang digunakan seperti kelelahan, dimensi hasil EDM, dan ketahanan aus. Selain itu juga mempengaruhi hasil akhir dalam proses EDM yaitu tingkat maksimum dari laju pelepasan bahan benda kerja (*material remove rate, MRR*) dan laju keausan elektroda (*tool wear rate, TWR*). Dalam proses EDM besar kecilnya arus dan lama durasi percikan bunga api listrik yang terjadi saat proses *discharge* akan mempengaruhi bentuk fisik antara elektroda dan benda kerja. Dengan semakin besar percikan bunga api listrik yang terjadi akan mengakibatkan peningkatan temperatur pada saat proses pengikisan.

Tujuan pada penelitian ini adalah menentukan parameter Arus (A), *pulse on time* (P_{on}), dan *pulse off time* (P_{off}) yang tepat (efektif) terhadap respon laju pelepasan bahan (*material removal rate-MRR*) benda kerja material SKS 3 dan laju keausan pahat (*tool wear rate-TWR*) dengan elektroda tembaga agar menghasilkan produk yang berkualitas.

Prinsip Kerja dan Tipe EDM

Prinsip kerja EDM berdasarkan energi termoelektrik. Energi ini dihasilkan antara benda kerja dan elektroda yang terendam dalam cairan dielektrik dengan aliran arus listrik. Benda kerja dan elektroda dipisahkan oleh celah kecil yang spesifik disebut celah percikan (*spark gap*). Pelepasan busur berdenyut terjadi pada celah ini yang diisi dengan media insulasi, lebih disukai cairan dielektrik seperti minyak hidrokarbon atau air yang tidak terionisasi atau tidak termineralisasi (Kuldeep et al., 2010)

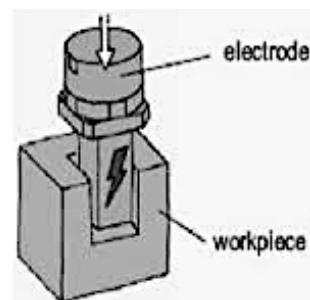


Gambar 1 Prinsip kerja EDM (Kuldeep et al., 2010)

Dari gambar 1., elektroda bergerak ke arah benda kerja mengurangi celah percikan sehingga tegangan yang diberikan cukup tinggi untuk mengionisasi cairan dielektrik (Shailesh, 2010), pelepasan bahan dari benda kerja terjadi akibat percikan ini dengan efek erosif dari muatan listrik (Bhola, 2011). Pada dasarnya, ada dua tipe EDM (Sushil et al., 2014):

a. Die Sinking

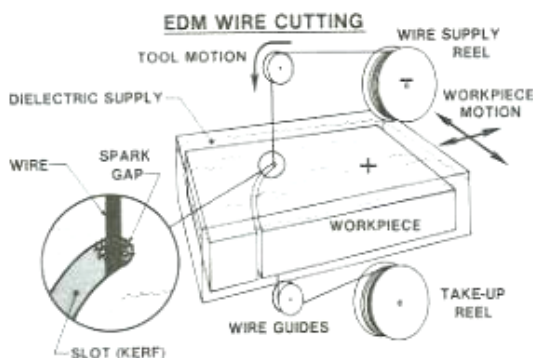
Pada proses pemesinan EDM *sinking*, elektroda dan benda kerja terhubung ke catu daya yang sesuai. Catu daya menghasilkan potensi listrik antara dua komponen benda kerja. Ketika elektroda mendekati benda kerja, kerusakan dielektrik terjadi dalam cairan, membentuk saluran plasma, dan pelompatan percikan kecil. Percikan api ini terjadi dalam jumlah besar di lokasi yang tampaknya acak antara elektroda dan benda kerja. Ketika logam dasar terkikis, dan celah percikan kemudian meningkat, elektroda diturunkan secara otomatis oleh mesin sehingga proses dapat berlanjut tanpa gangguan. Beberapa ratus ribu percikan terjadi per detik, dengan siklus tugas aktual dikontrol dengan cermat oleh pengaturan parameter proses.



Gambar 2 Die sinking EDM (Kuldeep et al., 2010)

b. Wire-cut

Pemesinan wire-cut EDM (juga dikenal sebagai *Spark EDM*) adalah proses produksi termal elektro di mana kawat logam untai tunggal tipis (biasanya kuningan) bersama dengan air terdeionisasi (digunakan untuk menghantarkan listrik) memungkinkan kawat untuk memotong logam dengan penggunaan panas dari percikan listrik. Pemotong kawat EDM umumnya digunakan ketika dibutuhkan tegangan sisa (*residual stress*) rendah, karena tidak memerlukan gaya pemotongan tinggi untuk pelepasan bahan. Jika energi / daya per pulsa relatif rendah (seperti dalam operasi *finishing*), sedikit perubahan dalam sifat mekanik suatu material yang diharapkan karena tegangan sisa yang rendah ini, meskipun material tegangan belum dihilangkan dapat mendistorsi dalam proses pemessinan. Karena sifat yang melekat dari proses, kawat EDM dapat dengan mudah melakukan pemessinan pada komponen yang kompleks dan presisi dari bahan konduktif yang keras. Proses kawat EDM menghasilkan pemessinan bebas *burr* dan dengan ketentuan bahwa benda kerja itu bersifat konduktif secara elektrik sifat mekaniknya (kekerasan, ketangguhan, kerapuhan, dan keuletan) tidak memaksakan batasan pada proses pemessinan.



Gambar 3 Wire-cut EDM

Parameter Utama EDM

Dalam pengoperasian EDM sangat tergantung pada *setup* parameter oleh operator, ketidaktepatan dalam menetapkan dan *setup* parameter akan menghasilkan produk tidak maksimal dalam segi ukuran pemotongan benda kerjanya serta keausan elektroda yang tinggi, oleh

karena itu diperlukan parameter-parameter yang sesuai agar mendapatkan kualitas hasil produk yang baik (Sushil et al., 2014).

Menurut Sushil et al. (2014), parameter EDM diklasifikasi dalam dua grup utama, yaitu :

a. Parameter Proses

Parameter proses dalam EDM digunakan untuk mengontrol ukuran kinerja dari proses pemessinan. Parameter proses umumnya adalah faktor input pemessinan yang dapat dikontrol yang menentukan kondisi di mana pemessinan dilakukan. Kondisi pemessinan ini akan memengaruhi hasil kinerja proses, yang diukur menggunakan berbagai ukuran kinerja.

1) Parameter elektrik

- *Polarity*
- *Discharge voltage*
- *Gap Voltage*
- *Peak Current*
- *Average Current*
- *Pulse on Time*
- *Pulse off time*
- *Pulse Frequency*
- *Pulse waveform*
- *Electrode Gap*
- *Duty Factor*

2) Parameter Non-Elektrik

- *Electrode lifts time*
- *Working Time*
- *Nozzle flushing*
- *Gain*
- *Type of Dielectric*

3) Parameter berdasarkan bubuk (powder)

- *Powder type*
- *Powder concentration*
- *Powder size*
- *Powder conductivity*
- *Powder density*

4) Parameter berdasarkan elektroda

- *Electrode material*
- *Electrode size*
- *Electrode shape*

b. Parameter Kinerja (*performance*)

Parameter ini mengukur berbagai kinerja proses hasil EDM. Adapun parameter tersebut adalah :

- 1) Laju Pelepasan Bahan (*material removal rate, MRR*)
- 2) Laju keausan pahat (*tool wear rate, TWR*)

- 3) Rasio Keausan (*wear ratio, WR*)
- 4) Kualitas Permukaan (*surface quality, SQ*)
- 5) Kekasaran Permukaan (*surface roughness, SR*)
- 6) Daerah Pengaruh Panas (*heat affected zone, HAZ*)
- 7) Re-ketebalan Lapisan (*recast layer thickness*)

2. METODOLOGI

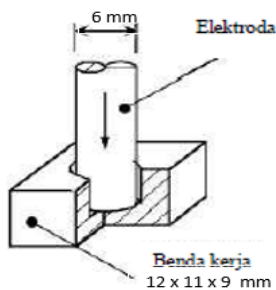
Tempat Pengujian dilakukan PT. Tokai Dharma Indonesia Jl.Raya Jakarta-Bogor Km.29 Tugu Cimanggis 16951-Indonesia

Material atau bahan yang digunakan benda kerja dalam penelitian ini adalah *alloy tool steel SKS3* dengan komposisi kimia diperlihatkan pada tabel 1.(JIS G 4404).

Tabel 1 Komposisi Kimia (%) material SKS3

C	Si	Ni	Mn
0,9-1	Max 0,35	-	0,9- 1,2
P	S	Cr	W
Max 0,03	Max 0,03	0,5-1	0,5-1

Material SKS3 ini umumnya digunakan untuk mesin dan peralatan cetakan kerja dingin (*cold working mold*) dan baja perkakas kerja dingin (*cold work tool steel*). Material elektroda yang digunakan adalah tembaga dengan ukuran benda kerja dan elektroda diperlihatkan pada gambar 4.



Gambar 4 bentuk geometri benda kerja dan elektroda

Elektroda yang dipakai untuk penelitian adalah:

- Bahan : Tembaga, massa jenis : 8,9 g/cm³
- Konduktifitas panas : 0,0167 Ωmm²/m (titik leleh : 1083oC)
- Diameter: 6 mm

- Komposisi kimia : diperlihatkan pada tabel 2.

Tabel 2 Komposisi Kimia (%) Elektroda

Sn	Zn	Pb	Fe
0,055	0,023	0,009	0,024
Ni	Al	P	Si
0,008	0,049	0,002	0,004
Mn	S	Sb	Cu
0,001	0,000	0,006	99,820

Mesin *Electro Discharge Machining (EDM)* yang digunakan adalah tipe CHMER CM 434Z dengan proses operasi pada variable yaitu tegangan voltase sebesar 240 V, Job time: 0,8mm, work time: 0,6s, GAP: 9, sensitivitas selama proses pemesian (SERVO = 75%).



Gambar 5 Mesin EDM tipe CHMER CM 434Z

Pengukuran performance dilakukan pada Laju pelepasan bahan (*material removal rate, M_{RR}*) dan laju keausan elektroda (*tool wear rate, T_{WR}*) dihitung dengan rumus (Sandeep, 2013)

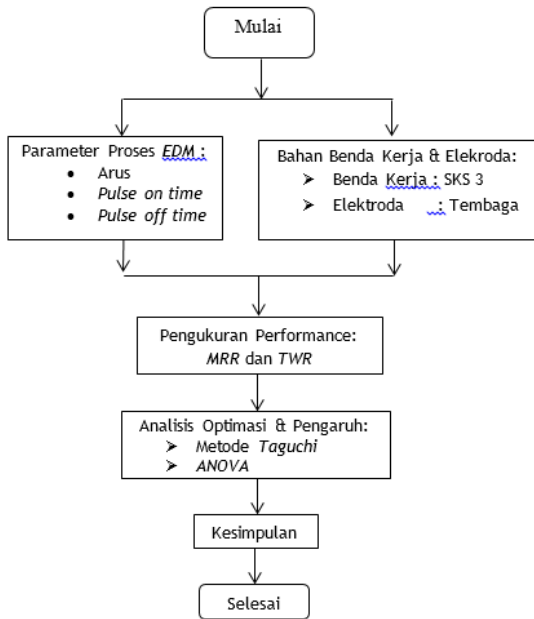
$$M_{RR} = \frac{W_1 - W_2}{t \cdot \rho} \quad (1)$$

$$T_{WR} = \frac{W_{t1} - W_{t2}}{t} \quad (2)$$

dimana:

- M_{RR}* : Laju pelepasan bahan (mm³/menit)
- T_{WR}* : Laju keausan pahat (gr/menit)
- W₁* : Berat benda kerja sebelum pemesian (gr)
- W₂* : Berat benda kerja setelah pemesian (gr)
- W_{t1}* : berat pahat sebelum dilakukan pemesian (gr)
- W_{t2}* : berat pahat setelah dilakukan pemesian (gr)
- t* : waktu pemesian (menit)
- ρ* : Densiti bahan baja = 7,85x10⁻³ g/mm³

Susunan langkah penelitian diperlihatkan pada diagram alir penelitian gambar 6.



Gambar 6 Diagram alir penelitian

Untuk Analisa optimasi menggunakan Metode Taguchi merupakan metode perancangan yang berprinsip pada perbaikan mutu dengan memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan penyebabnya, ini dapat diperoleh melalui optimasi produk dan perancangan proses untuk membuat unjuk kerja kebal terhadap berbagai penyebab variasi suatu proses yang disebut perancangan parameter (Soejanto, 2009).

Rancangan eksperimen (*design of experiment, DOE*) dalam penelitian ini mengikuti metode Taguchi dengan *orthogonal array* L_8 diperlihatkan pada tabel 3.

Tabel 3 DOE Metode Taguchi L_8

No. Sampel	Arus (A)	Pulsa On Time (µs)	Pulsa off Time(µs)
1	3	100	50
2	3	100	75
3	3	200	50
4	3	200	75
5	6	100	50
6	6	100	75
7	6	200	50
8	6	200	75

Alat ukur pada metode Taguchi untuk fungsi kerugian mutu berdasarkan *Signal to Noise Ratio* (S/N) yaitu logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadratik dan digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu produk

dilakukan dengan 3 macam yaitu (Soejanto, 2009):

a. *Nominal the best*

$$S/N = 10 \log_{10} \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right] \quad (3)$$

b. *Smaller The Better*

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (4)$$

c. *Higher The Better*

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (5)$$

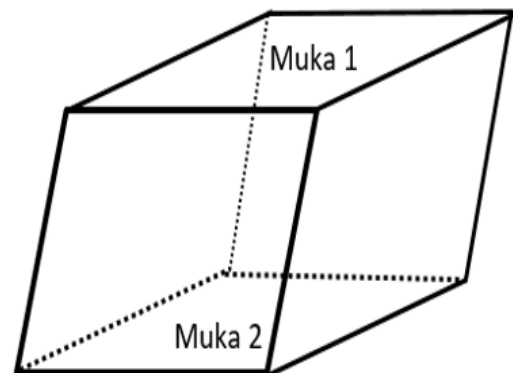
Dalam penggunaan, Persamaan (4) digunakan untuk menganalisis nilai TWR dan Persamaan (5) untuk MRR . Sedangkan Pengaruh parameter proses menggunakan metode ANOVA atau Analisis Varians yaitu suatu teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif mengestimasi kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. Analisis varians yang digunakan pada desain parameter berguna untuk membantu mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

Benda Kerja

Pengujian pada benda kerja akan dilakukan 2 kali yaitu pada bolak-balik spesimen uji.



Gambar 7 Lokasi pengujian No.1 (muka 1) dan pengujian No. 2 (muka 2)

Dari pengujian benda kerja kemudian dilakukan penimbangan diperoleh hasil diperlihatkan pada tabel.4 dan 5.

Tabel 4 Hasil Pengujian No.1

Spesimen	Parameter Variabel			Waktu: t (menit)	Berat Spesimen Uji (gr)	
	Arus (A)	Pon (μs)	Poff (μs)		Awal (W _t)	Akhir (W ₂)
1	3	100	50	67	11,9429	11,435
2	3	100	75	74	11,9651	11,4972
3	3	200	50	102	11,583	11,07
4	3	200	75	110	11,7628	11,2695
5	6	100	50	13	11,485	10,9756
6	6	100	75	15	11,7661	11,2919
7	6	200	50	17	11,5004	11,0522
8	6	200	75	18	11,5561	11,044

Tabel 5 Hasil Pengujian No.2

Spesimen	Parameter Variabel			Waktu: t (menit)	Berat Spesimen Uji (gr)	
	Arus (A)	Pon (μs)	Poff (μs)		Awal (W _t)	Akhir (W ₂)
1	3	100	50	64	11,435	10,962
2	3	100	75	72	11,4972	11,0853
3	3	200	50	100	11,07	10,5579
4	3	200	75	111	11,2695	10,758
5	6	100	50	14	10,9756	10,4575
6	6	100	75	14	11,2919	10,7736
7	6	200	50	16	11,0522	10,5359
8	6	200	75	17	11,044	10,5142

Elektroda

Mengukur keausan elektroda dilakukan 2 kali yaitu pada bolak-balik spesimen uji, hasilnya diperlihatkan pada tabel 6 dan 7.

Tabel 6 Berat elektroda hasil pengujian No.1

Spesimen	Parameter Variabel			Waktu: t (menit)	Berat Elektroda (gr)	
	Arus (A)	Pon (μs)	Poff (μs)		Awal (W _t)	Akhir (W ₂)
1	3	100	50	67	9,8184	9,8118
2	3	100	75	74	8,9446	8,9380
3	3	200	50	102	9,8536	9,8490
4	3	200	75	110	9,8622	9,8576
5	6	100	50	13	9,8548	9,8505
6	6	100	75	15	9,8444	9,8408
7	6	200	50	17	9,8880	9,8869
8	6	200	75	18	9,8738	9,8722

Tabel 7 Berat elektroda hasil pengujian No.2

Spesimen	Parameter Variabel			Waktu: t (menit)	Berat Elektroda (gr)	
	Arus (A)	Pon (μs)	Poff (μs)		Awal (W _t)	Akhir (W ₂)
1	3	100	50	67	9,8118	9,8039
2	3	100	75	74	8,9380	8,9321
3	3	200	50	102	9,8490	9,8443
4	3	200	75	110	9,8576	9,8531
5	6	100	50	13	9,8505	9,8466
6	6	100	75	15	9,8408	9,8368
7	6	200	50	17	9,8869	9,8854
8	6	200	75	18	9,8722	9,8709

Pembahasan

Perhitungan M_{RR} dengan menggunakan rumus 1. dan data tabel 4 & 5 diperlihatkan pada tabel 8. Sedangkan hasil perhitungan T_{WR} dengan menggunakan rumus 2. dan data tabel 6 & 7 diperlihatkan pada tabel 9.

Tabel 8 Hasil pengolahan data pengujian untuk M_{RR}

Spesi men	Parameter Variabel			MRR		
	Arus (A)	Pon (μs)	Poff (μs)	Pengujian No.1 (MRR ₁) (mm ³ /menit)	Pengujian No.2 (MRR ₂) (mm ³ /menit)	MRR Rata-rata (mm ³ /menit)
1	3	100	50	0,9657	0,9415	0,9536
2	3	100	75	0,8055	0,7288	0,7671
3	3	200	50	0,6407	0,6524	0,6465
4	3	200	75	0,5713	0,5870	0,5791
5	6	100	50	4,9917	4,7143	4,8530
6	6	100	75	4,0272	4,7161	4,3716
7	6	200	50	3,3586	4,1107	3,7346
8	6	200	75	3,6242	3,9700	3,7971

Tabel 9 Hasil pengolahan data pengujian untuk T_{WR}

Spesi men	Parameter Variabel			TWR		
	Arus (A)	Pon (μs)	Poff (μs)	Pengujian No.1 (TWR ₁) (gr/menit)	Pengujian No.2 (TWR ₂) (gr/menit)	TWR Rata-rata (gr/menit)
1	3	100	50	0,0000985	0,0001234	0,0001110
2	3	100	75	0,0000892	0,0000819	0,0000856
3	3	200	50	0,0000451	0,0000470	0,0000460
4	3	200	75	0,0000418	0,0000405	0,0000412
5	6	100	50	0,0003308	0,0002786	0,0003047
6	6	100	75	0,0002400	0,0002857	0,0002629
7	6	200	50	0,0000647	0,0000938	0,0000792
8	6	200	75	0,0000889	0,0000765	0,0000827

Analisis dengan Metode Taguchi

Rasio S/N dan Nilai Mean untuk M_{RR}

Rasio S/N dan Nilai Mean pada perhitungan M_{RR} menggunakan *higher the best* karena menginginkan nilai yang optimal atau maksimal. Perhitungan *rasio S/N* dan Nilai Mean memperlihatkan faktor-faktor yang mempengaruhinya dengan menggunakan *Minitab 17* diperoleh. Tabel 10 diperlihatkan *rasio S/N* hasil dari respon efek dari parameter proses yang mempengaruhi laju pelepasan bahan pada proses EDM yang digunakan. Terlihat bahwa peringkat 1 adalah arus sangat berpengaruh signifikan terhadap M_{RR} diikuti dengan P_{on} diperingkat 2 dan P_{off} diperingkat 3. Pada Tabel 11 diperlihatkan Nilai Mean.

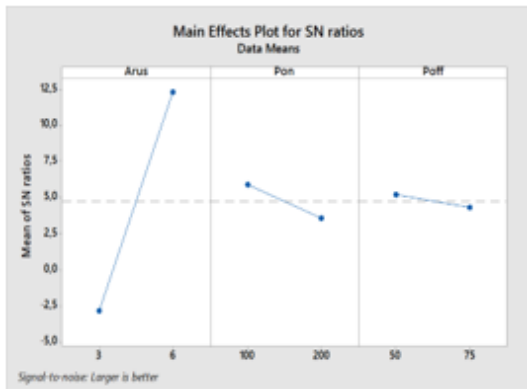
Tabel 10 Analisis S/N pada M_{RR}

Level	Arus	Pon	Poff
1	-2,822	5,922	5,204
2	12,329	3,584	4,303
Selisih	15,151	2,338	0,901
Peringkat	1	2	3

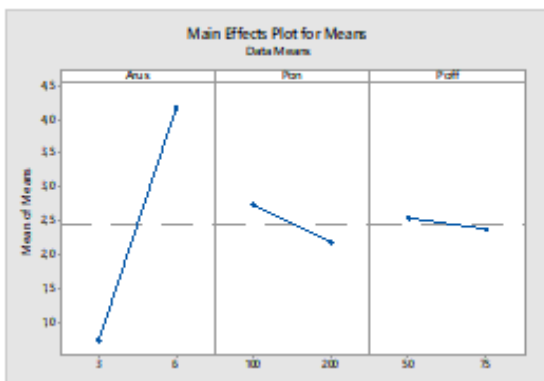
Tabel 11 Analisis Nilai Mean pada M_{RR}

Level	Arus	Pon	Poff
1	0,7366	2,7363	2,5469
2	4,1891	2,1894	2,3788
Selisih	3,4525	0,5470	0,1682
Peringkat	1	2	3

Dibawah ini adalah grafik hasil analisis dari tabel 10 (gambar 8) dan 11 (gambar 9).



Gambar 8 Grafik Main Effects Plot for S/N ratio M_{RR}



Gambar 9 Main Effects Plot for Means pada M_{RR}

Dari tabel 10 dan tabel 11 dapat disimpulkan bahwa faktor arus mempunyai nilai lebih efek terbesar terhadap kualitas dari proses EDM bila dibandingkan dengan faktor yang lainnya dan parameter optimal ditetapkan untuk $M_{RR} = 4.8530 \text{ mm}^3/\text{menit}$ pada Arus = 6 A ; $P_{on} = 100 \mu\text{s}$; $P_{off} = 50 \mu\text{s}$.

Rasio S/N dan Nilai Mean untuk T_{WR}

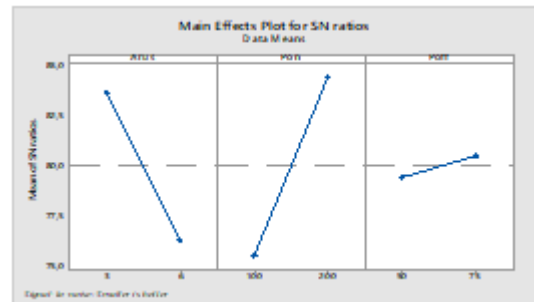
Rasio S/N dan Nilai Mean pada perhitungan T_{WR} menggunakan *smaller the best* karena keausan minimum optimal yang dibutuhkan pada elektroda. Rasio S/N dan Nilai Mean T_{WR} diperlihatkan pada table 12 dan 13 sedangkan gambar 10 dan 11 diperlihatkan grafiknya.

Dari tabel 12 dan 13 dapat disimpulkan bahwa faktor P_{on} mempunyai efek besar terhadap kualitas dari keausan elektroda, terlihat parameter optimal T_{WR} adalah

0,0003047 gr/menit pada $P_{on} = 100 \mu\text{s}$; Arus = 6 A; $P_{off} = 50 \mu\text{s}$.

Tabel 12 Analisis S/N pada T_{WR}

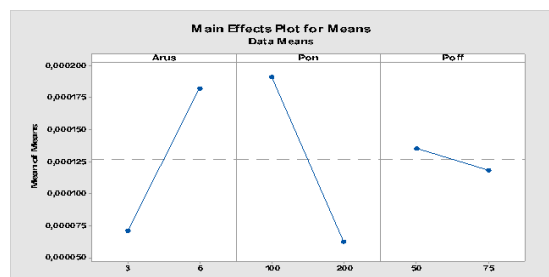
Level	Arus	PON	POFF
1	83,6951	75,5636	79,472
2	76,3413	84,4727	80,5644
Selisih	7,353	8,863	1,092
Peringkat	2	1	3



Gambar 10 Main Effects Plot for S/N ratio T_{WR}

Tabel 13 Analisis Nilai Mean pada T_{WR}

Level	Arus	PON	POFF
1	83,6951	75,5636	79,472
2	76,3413	84,4727	80,5644
Selisih	7,353	8,863	1,092
Peringkat	2	1	3



Gambar 11 Main Effects Plot for Means pada T_{WR}

Analisis Pengaruh parameter proses dengan Metode ANOVA

Untuk mengetahui prosentase terbesar pengaruh tiap parameter proses terhadap M_{RR} dan T_{WR} dilakukan analisa dengan metode varian (Anova). Tabel 14 dan 15 diperlihatkan besarnya pengaruh tiap parameter proses Arus, P_{on} , dan P_{off} .

Tabel 14 Analisis of Variance untuk M_{RR}

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	%C
Arus	1	459,080	459,080	459,080	1019,45	0,000	94,97
P _{ON}	1	10,934	10,934	10,934	24,28	0,001	0,34
P _{OFF}	1	1,625	1,625	1,625	3,61	0,130	2,30
Residual Error	4	1,801	1,801	0,450			
Total	7	473,440					

S = 0,4711 R-Sq = 99,6% R-Sq [Adj] = 99,3%

Tabel 15 Analisis of Variance untuk T_{WR}

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	%C
Arus	1	108,453	108,453	108,453	48,94	0,000	38,89
P _{ON}	1	159,255	159,255	159,255	71,87	0,0010	57,1
P _{OFF}	1	2,318	2,318	2,318	1,05	0,364	0,83
Residual Error	4	8,864	8,864	2,216			
Total	7	278,890					

S = 0,4711 R-Sq = 99,6% R-Sq [Adj] = 99,4%

Dari table 14, diperoleh Prosentase pengaruh kontribusi terbesar adalah Arus pada M_{RR} yaitu :

$$\rho A = \frac{459,080}{473,440} \times 100\% = 96.966 \approx 96.97 \%$$

Sedangkan dari tabel 15, diperoleh Prosentase pengaruh kontribusi terbesar adalah P_{on} pada T_{WR} yaitu :

$$\rho P_{on} = \frac{159,255}{278,890} \times 100\% = 51.103 \approx 51.1 \%$$

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa Taguchi, Laju pelepasan bahan benda kerja atau *Material Removal Rate* (M_{RR}) dan laju keausan elektroda atau *Tool Wear Rate* (T_{WR}) menghasilkan parameter optimum yang sama yaitu pada Arus_{level 2}, Pon_{level 1} dan Poff_{level 1} dengan nilai : Arus = 6 ampere ; $P_{on} = 100\mu s$; $P_{off} = 50\mu s$. Sedangkan dari hasil analisa Anova terlihat bahwa M_{RR} sangat di pengaruhi oleh parameter arus dengan persentase kontribusi sebesar 96.97% dan diikuti dengan parameter *pulse on time* (Pon) dan *pulse off time* (Poff). Untuk *tool wear rate* (T_{WR}) di pengaruhi oleh parameter *pulse on time* (P_{on}) dengan persentase kontribusi sebesar 57.10% dan diikuti dengan parameter arus dan *pulse off time* (P_{off}).

DAFTAR PUSTAKA

Ali M.A, dkk,2013 Pengaruh Parameter EDM terhadap Material Removal Rate dengan bahan Tembaga Berilium Menggunakan Metode Full Faktorial, Middle-East Journal of Scientific Research 16 (1): 44-50.

Bhola Jha,K.Ram and Mohan Rao.,2011. *An overview of technology and research in electrode design and manufacturing in sinking electrical discharge machining*,

Journal of Engineering Science and Technology.

I Fata Sagedistira.,2012. Studi Pengaruh Variasi Arus Proses Pemessinan Edm Sinking Terhadap Kekerasan Dan Karakteristik Struktur Mikro Material Baja Skd 11, hasil penelitian Jurusan Teknik Mesin (S1) Fakultas Teknik Universitas Jember, Jember.

K.H. Ho, S.T. Newman., 2003. State of the art electrical discharge machining (EDM). International Journal of Machine Tools & Manufacture 43 (2003) 1287-1300

Kuldeep Ojha, R. K. Garg, K. K. Singh.,2010. *MRR Improvement in Sinking Electrical Discharge Machining: A Review*, Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, Vol. 9, No.8, pp.709-739.

JIS G 4404., 2005. Alloy tools Steels

Londa Petrus.,2014, Pengaruh Variabel Pemotongan Terhadap Keausan Elektroda Dan Benda Kerja Pada Proses EDM, Jurnal Teknik Mesin, ROTASI Vol. 16, No. 4.

Sandeep Kumar., 2013. Current Research Trends in Electrical Discharge Machining, Vol. 2(2),56-60, *Research Journal of Engineering Sciences*,

Shailesh Kumar Dewangan.,2010, Experimental Investigation Of Machining Parameters For Edm Using U-Shaped Electrode Of Aisi P20 Tool Steel, A Thesis Submitted In Partial Fulfilment Of The Requirements For The Degree Of Master Of Technology In Mechanical Engineering, Department Of Mechanical. Engineering National Institute Of Technology Rourkela,

Soejanto Irwan.,2009. Desain Eksperimen dengan metode Taguchi, Graha Ilmu, Yogyakarta 2009.

Sushil Kumar Choudhary , Dr. R.S Jadoun.,2014. Current Advanced Research Development of Electric Discharge Machining (EDM): A Review , International Journal of Research in Advent Technology, Vol.2, No.3.

S.V. Subrahmanyam, M. M. M. Sarcar.,2013. Evaluation of Optimal Parameters for machining with Wire cut EDM Using Grey-Taguchi Method, International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 3, Issue 3.

Ross J. Phillip.,1996. Taguchi Techniques for Quality Engineering, 2nd Ed, McGraw-Hill, New York San Francisco Washington D.C