

PENGARUH VARIABEL PEMOTONGAN TERHADAP KEAUSAN ELEKTRODA DAN BENDA KERJA PADA PROSES EDM

Petrus Londa

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung
Jl. Geger Kalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung 40012, Telp. (022) 2013789.
E-mail: petruslonda@yahoo.com

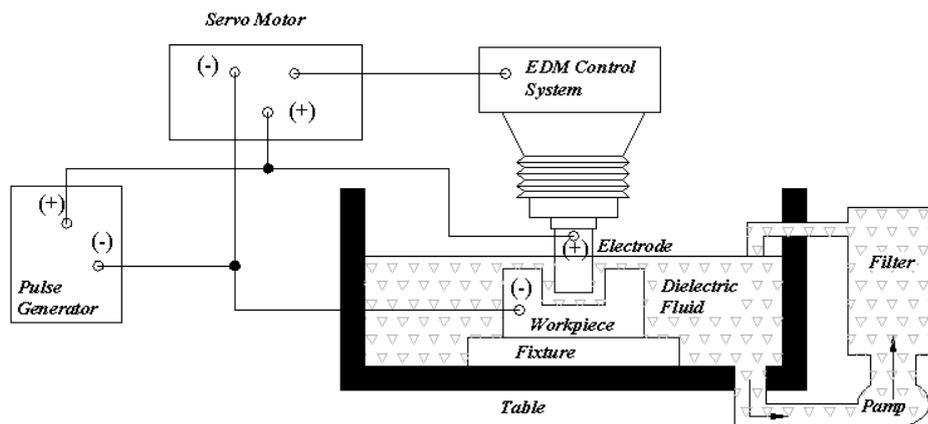
ABSTRAK

Keausan elektroda pada proses EDM *die sinking* adalah peristiwa yang tidak dapat di hindari, namun dengan mengatur variabel pemotongan yang sesuai, diharapkan keausan yang terjadi se-minim mungkin sehingga dapat menjamin tingkat akurasi ukuran pada benda kerja yang di hasilkan. Pada penelitian ini di pilih metode *Taguchi* untuk menentukan variabel pemotongan yang optimum pada elektroda tembaga dan benda kerja dari bahan K460 (amutit S). *Taguchi L₉ orthogonal array*, *signal-to-noise ratio (S/N ratio)* dan *analysis of variance (ANOVA)* dapat menentukan performa variabel proses EDM (PON, POFF, QDON dan GAP) dengan parameter yang di teliti adalah *Electrode Wear Rate (EWR)* dan *Material Removal Rate (MRR)*. Hasil dari eksperimen tersebut di tampilkan dalam bentuk tabel-tabel dan grafik.

Kata kunci: ANOVA, *electrode wear rate*, *material removal rate*, *taguchi*.

1. PENDAHULUAN

Proses *Electrical Discharge Machining* (EDM) adalah proses pengerjaan material benda kerja atau suatu produk yang di lakukan oleh sejumlah loncatan bunga api listrik yang terjadi pada celah elektroda (alat potong) dengan benda kerja. Loncatan bunga api listrik tersebut terjadi secara tidak kontinyu melainkan secara periodik terhadap waktu, terjadi di antara elektroda dan benda kerja yang terendam dalam fluida dielektrikum pada tegangan listrik lebih besar dari 20 volt. Loncatan bungan api listrik menyebabkan pemusatan aliran elektron kecepatan tinggi dan menumbuk permukaan benda kerja. Akibat hal tersebut permukaan benda kerja mengalami kenaikan temperatur sekitar 8000°C – 12000°C [1,2] dan akan menyebabkan pelelehan lokal pada bagian tersebut, kondisi seperti ini terjadi juga pada permukaan elektroda. Karena proses EDM terendam dalam fluida dielektrik sehingga akibat kenaikan temperatur tersebut, maka pada saat yang bersamaan terjadi juga penguapan baik pada permukaan benda kerja, elektroda maupun cairan dielektrik itu sendiri. Mekanisme proses *Electrical Discharge Machining* dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Mekanisme Proses EDM [2].

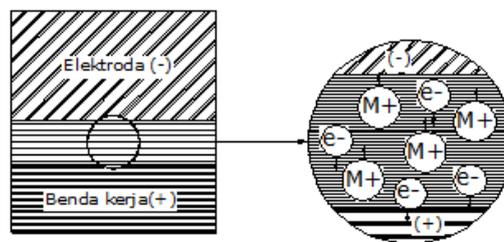
Setelah terjadinya loncatan bunga api listrik; aliran listrik terhenti, menyebabkan penurunan temperatur secara mendadak dan mengakibatkan gelembung uap mengkerut sehingga bagian benda kerja dan elektroda yang meleleh tersebut akan terpancar keluar (terjadi erosi) dari permukaan meninggalkan bekas-bekas berupa kawah halus pada permukaan material. Bagian-bagian yang terpancar ini secepatnya membeku kembali berbentuk partikel-partikel halus dan terbawa pergi oleh aliran cairan dielektrik.

Proses erosi yang terjadi pada permukaan benda kerja dan elektroda adalah asimetris. Proses erosi yang terjadi pada elektroda menyebabkan keausan elektroda atau *electrode wear rate* (EWR), sedangkan proses erosi pada benda kerja merupakan proses pengerjaan benda kerja, produktivitas pengerjaan benda kerja di tunjukan oleh *material removal rate* (MRR) [3]. Proses erosi yang asimetris pada permukaan benda kerja dan elektroda tersebut tergantung pada variabel-variabel: (i) Polaritas, (ii) Konduktivitas panas dari material, (iii) Titik leleh, (iv) Interval waktu (POFF) dan (v) Intensitas dari loncatan bunga api listrik yang terjadi (PON).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengatur parameter-parameter tersebut di atas, agar memungkinkan memperoleh proses erosi 99,5 % terjadi pada permukaan benda kerja sedangkan 0,5 % terjadi pada elektroda. Pada proses EDM peristiwa ini di kenal juga dengan istilah *MRR of the work is a larger-the-better (LTB) quality characteristic* dan *EWR of the tool is a smaller-the-better (STB) quality characteristic* [1, 4].

Proses terjadinya loncatan bunga api listrik di antara elektroda dan benda kerja tersebut adalah sebagai berikut:

- Pada saat jarak terdekat elektroda dan benda kerja, terjadilah medan listrik yang kuat sehingga ion-ion positif (M^+) dan elektron (e^-), masing-masing mengalir pada kutup yang berlawanan.
- Pada kondisi ini maka terbentuklah saluran ion yang bersifat konduktif, sehingga arus listrik dapat mengalir melalui saluran ion tersebut.
- Tahanan listrik pada saluran ion menjadi rendah sehingga terjadi pelepasan energi listrik dalam waktu yang singkat berupa loncatan bunga api listrik. Gambar 2 menunjukkan proses ionisasi yang menyebabkan loncatan bungan api listrik.



Gambar 2. Proses ionisasi [5].

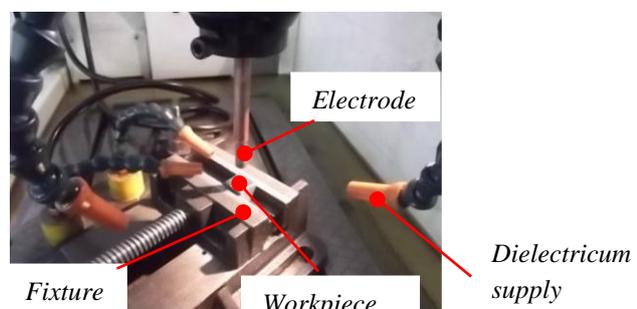
Studi tentang MRR dan EWR ini juga sudah di lakukan oleh Mohammdreza Shabgard dkk (2011), dimana mereka mencari variabel pemotongan yang optimum pada proses EDM untuk meminimalisasi EWR dan memaksimalkan MRR pada material benda kerja AISI H13 dan elektroda tembaga [6]. Selain itu studi tentang MRR dan EWR juga di lakukan oleh Mohd Amri Lajis dkk (2009), mereka mencari variabel pemotongan yang optimum pada proses EDM dengan menggunakan elektroda *graphite* dan material benda kerja *tungsten carbide ceramic* [7]. Amorim dan Weingaertner berkebangsaan Brazil, pada tahun 2007 melakukan studi tentang keausan elektroda *graphite* dan *copper* dari sisi sitem *polarity* pada material benda kerja AISI P20 *tool steel* [8]. Sedangkan Meena K. L. dkk (2013) melakukan studi tentang MRR dan EWR pada material benda kerja Al-6063 atau SiC (Al/SiC-MMC) dan elektroda dari tembaga berdiameter 4,4 mm [9].

2. MATERIAL DAN METODOLOGI

2.1. Metode Eksperimen



(3a)



(3b)

Gambar 3. Mesin EDM Neu Ar, type ZNC.

Eksperimen di lakukan untuk mengetahui keausan pada elektroda atau *Electrode Wear Rate* (EWR) dan keausan pada benda kerja atau *Material Removal Rate* (MRR). Eksperimen di lakukan dengan menggunakan mesin EDM *Neu Ar, type ZNC* yang ada di Politeknik Negeri Bandung, seperti yang di perlihatkan pada gambar 3a dan proses *setup* mesin ditunjukkan dalam gambar 3b. Setiap material memiliki ketahanan terhadap keausan yang berbeda-beda [10]. Ketahan terhadap keausan ini dapat di hitung dengan persamaan:

$$R = \frac{1}{W} \tag{1}$$

dimana: R = *resistance*

W = *volume of material removed*

2.2. Alat dan bahan penelitian.

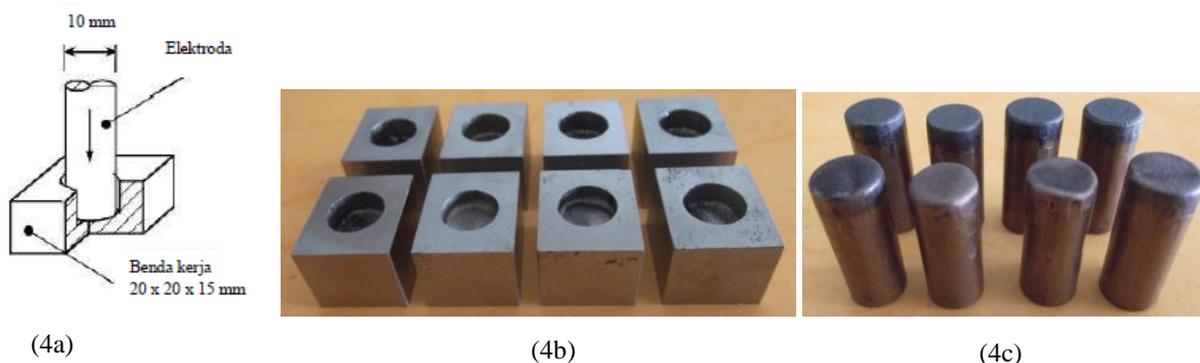
Bahan yang di perlukan dalam penelitian ini antara lain: (i) Elektroda dari tembaga diameter 10 mm dengan massa jenis 8,9 g/cm³, titik leleh 1083°C, konduktivitas panas 0,0167Ωmm²/m dan komposisi kimia seperti yang di perlihatkan dalam Tabel 1. (ii) Fluida dielektrik *kerosene* dengan viskositas 2 Cst dan titik api 78°C. (iii) Benda kerja dari baja perkakas K460 (amutit S) dengan kekerasan 66 HRC, komposisi kimia seperti yang di perlihatkan dalam Tabel 2 dan geometri benda kerja seperti yang diperlihatkan dalam gambar 4a, sedangkan bentuk dan ukuran yang dihasilkan adalah lubang tidak tembus (buntu) dengan ukuran diameter 10 mm dan kedalaman 5 mm seperti yang diperlihatkan dalam gambar 4b untuk benda kerja dan gambar 4c untuk elektroda, (iv) Alat-alat yang digunakan seperti jangka sorong digital dengan ketelitian 0,02 mm dan timbangan digital berkapasitas 300 gram dengan ketelitian 0,01 gram.

Tabel 1. Komposisi kimia untuk material elektroda.

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

Tabel 2. Komposisi kimia untuk material benda kerja.

No.	Unsur kimia	Komposisi (%)	Kekerasan
1.	C	0,95	66 HRC
2.	Si	0,25	
3.	Mn	1,10	
4.	Cr	0,55	
5.	V	0,10	
6.	W	0,55	



Gambar 4. Geometri serta hasil eksperimen elektroda dan benda kerja.

2.3. Rancangan penelitian.

Paper ini menggunakan metode *Taguchi* karena metode ini sangat efektif dalam mengambil keputusan terhadap suatu penelitian dengan multi parameter [11]. Pemilihan variabel proses EDM sebagai berikut:

a. Variabel yang di tetapkan:

Sistem saluran pembawa partikel (geram) hasil pemoangan adalah terendam dalam cairan dielektrikum dengan sedikit penyemprotan, polaritas (+) pada elektroda, besar arus yang digunakan (LT = 12A), sensitivitas selama proses pemesinan (SERVO = 50%), kecepatan gerak spindel mesin (SPD = 60%), langkah bebas elektroda terhadap benda kerja setiap siklus (QUP = 1,5 mm).

b. Variabel bebas (*input variable*):

Variabel bebas terdiri dari intensitas loncatan bunga api listrik atau *Pulse-on time* (PON), interval waktu pelepasan energi listrik atau *Pulse-off time* (POFF), lama waktu *discharge* (QDON) dan *gap voltage* (GAP). Nilai dari masing-masing variabel pemesinan tersebut di bagi menjadi tiga level, seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Nilai setiap level untuk *input variable*.

No.	Variabel Pemesinan	Level 1	Level 2	Level 3
1.	PON [μs]	8	60	400
2.	POFF [μs]	3	6	9
3.	QDON [<i>sec.</i>]	3	6	9
4.	GAP [<i>volt</i>]	25	45	65

c. Respon variabel: respon variabel adalah variabel yang di teliti (*output variable*) yaitu *Electrode Wear Rate* (EWR) dan *Material Removal Rate* (MRR).

Skema eksperimen berdasarkan metode *Taguchi L₉ orthogonal array* [12] diperlihatkan dalam Tabel 4 yang terdiri dari 4 kolom variabel pemesinan, 9 baris menunjukkan nomor eksperimen; pada penelitian ini jumlah eksperimen setiap barisnya dilakukan sebanyak 3 kali, hal ini untuk mengatasi kesalahan dalam melakukan eksperimen [13]. Setiap variabel pemesinan di uji terhadap variasi variabel pasangannya, sehingga total eksperimen adalah $9 \times 4 \times 3 = 108$ eksperimen. Nilai yang berada pada setiap matriks dalam Tabel 4 menunjukkan level dari masing-masing variabel pemesinan.

Tabel 4. Skema eksperimen *L₉ orthogonal array*.

No.eks.	Variabel Pemesinan			
	PON	POFF	QDON	GAP
1.	1	1	1	1
2.	1	2	2	2
3.	1	3	3	3
4.	2	1	2	3
5.	2	2	3	1
6.	2	3	1	2
7.	3	1	3	2
8.	3	2	1	3
9.	3	3	2	1

Prosedur penelitian meliputi tahapan-tahapan sebagai berikut: (i) mengukur berat awal masing-masing elektroda dan benda kerja dengan menggunakan timbangan, (ii) melakukan proses pengujian pada mesin EDM dengan pasangan variabel yang telah di tetapkan, (iii) mengukur masing-masing berat elektroda dan benda kerja setelah proses pengujian, (iv) menghitung semua hasil pengukuran yang di perlukan dengan menggunakan persamaan:

a. Metode *Taguchi*:

Metode *Taguchi* digunakan untuk menentukan efek dari empat variabel proses EDM (PON,POFF, QDON, GAP) terhadap dua variabel *output* (EWR, MRR). Untuk mengukur interaksi dari ke empat variabel tersebut maka di gunakan pendekatan *signal-to-noise ratio* (*S/N ratio*). Untuk menghitung *S/N ratio* pada keausan elektroda menggunakan aturan *smaller-the-better* (*STB*) *quality characteristic* dengan persamaan:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \tag{2}$$

dimana *n* adalah jumlah data yang diobservasi dan *y_i* adalah data ke *i*, sedangkan untuk menghitung *S/N ratio* pada keausan benda kerja menggunakan aturan *larger-the-better* (*LTB*) *quality characteristic* dengan persamaan:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \tag{3}$$

b. *Analysis of variance* (ANOVA):

Metode *Taguchi* tidak dapat menentukan efek dari masing-masing variabel terhadap suatu proses, untuk menentukan pengaruh dari masing-masing variabel tersebut (PON, POFF, QDON, GAP) terhadap suatu proses maka di gunakan ANOVA dengan persamaan-persamaan sebagai berikut:

- Menentukan jumlah kuadrat dari data (*Sum of Square Group*):

$$SoS_{Group} = \sum_{i=1}^k \frac{T_{*i}^2}{n_i} - \frac{(T_{**})^2}{N} \tag{4}$$

dimana k adalah jumlah kolom, n_i banyaknya data pada kolom ke i , N adalah data keseluruhan, T_{*i} adalah jumlah data pada kolom ke i dan T^{**} adalah jumlah T_{*i} .

- Menentukan jumlah kuadrat tengah (*Mean Square*):

$$MS = \frac{SoS_{Group}}{DF} \tag{5}$$

dimana DF adalah *Degree of Freedom* ($k - 1$).

- Menentukan koefisien regresi menggunakan persamaan *multiple linear regression*:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \dots + \beta_p \cdot x_p + \epsilon \tag{6}$$

dimana Y adalah *dependent variable*, x_1, x_2, \dots, x_p adalah *independent variable*, β_0 adalah konstanta, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ adalah *regression variable* dan ϵ adalah *error*.

Regresi linier berganda berfungsi untuk mengevaluasi pengaruh variabel pemotongan pada setiap level terhadap *Electrode Wear Rate* (EWR) dan *Material Removal Rate* (MRR).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Analisa Taguchi.

Setelah melakukan eksperimen, maka di peroleh data keausan elektroda (EWR) dan data keausan benda kerja (MRR) untuk setiap variabel pasangannya. Salah satu data hasil pengujian keausan elektroda dan benda kerja untuk pasangan variabel PON seperti yang di perlihatkan dalam Tabel 5 berikut ini:

Tabel 5. Hasil pengujian pasangan variabel PON.

No. Eks.	EWR [gram]			MRR [gram]		
	y_1	y_2	y_3	y_1	y_2	y_3
1	1,68	1,59	1,48	1,66	1,51	1,42
2	1,37	1,34	1,19	1,85	1,78	1,65
3	1,28	1,27	1,25	1,9	1,91	1,85
4	0,31	0,32	0,32	2,92	2,89	2,88
5	0,34	0,39	0,37	2,54	2,68	2,67
6	0,35	0,44	0,42	2,04	2,62	2,6
7	0,01	0,02	0,01	3,29	3,33	3,35
8	0,01	0,01	0	2,99	3,39	3,36
9	0,03	0,01	0,01	3,31	3,36	3,38

Karena pada elektroda dibutuhkan ketahanan terhadap keausan, maka untuk menghitung *S/N ratio* pada setiap level kita gunakan aturan *STB quality characteristic*, sedangkan untuk menentukan variabel pemesinan yang secara signifikan mempengaruhi ketahanan terhadap keausan elektroda dapat di tentukan dengan nilai rata-rata dari *S/N ratio* (*mean S/N ratio*), seperti yang di tunjukan dalam Tabel 6 berikut ini:

Tabel 6. Signifikan parameter pemesinan untuk EWR.

No.	Machining parameters	Mean S/N Ratio			Significance of machining parameters (Max - Min)
		Level 1	Level 2	Level 3	
1.	PON	-2,78382	8,845032	37,70263	40,49
2.	POFF	14,77305	13,27381	13,44524	1,50
3.	QDON	13,64708	14,26102	15,28741	1,65
4.	GAP	15,09406	14,97628	13,46158	1,63

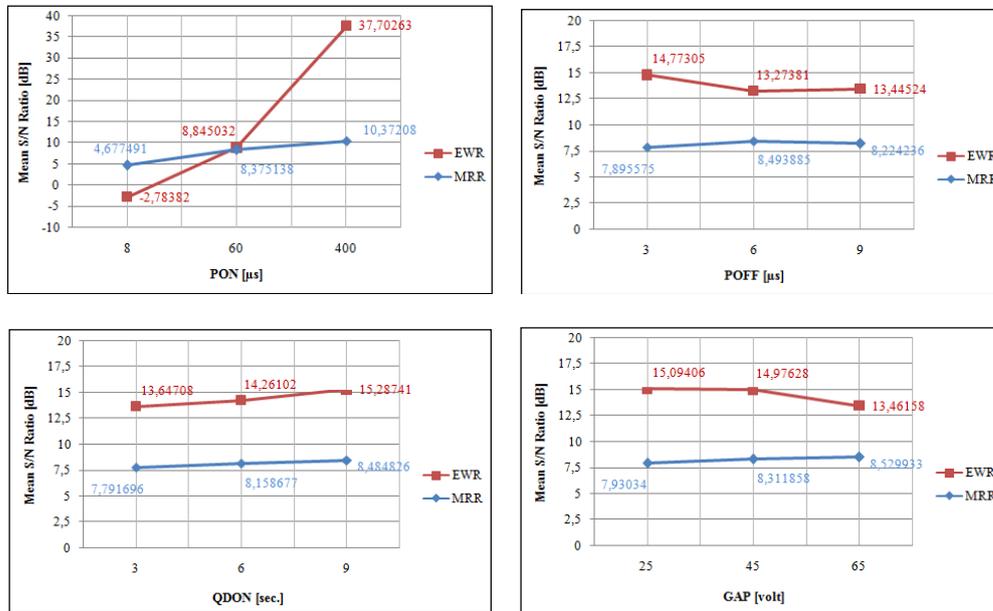
Sebaliknya pada benda kerja diharapkan keausan yang maksimal, sehingga untuk menghitung *S/N ratio* pada setiap level kita gunakan aturan *LTB quality characteristic*, hasil perhitungannya diperlihatkan dalam Tabel 7 berikut ini:

Tabel 7. Signifikan parameter pemesinan untuk MRR.

No.	Machining parameters	Mean S/N Ratio			Significance of machining parameters (Max - Min)
		Level 1	Level 2	Level 3	
1.	PON	4,677491	8,375138	10,37208	5,69
2.	POFF	7,895575	8,493885	8,224236	0,60
3.	QDON	7,791696	8,158677	8,484826	0,69

4. GAP 7,93034 8,311858 8,529933 0,60

Hasil perhitungan pada Tabel 6 dapat di lihat bahwa parameter pemesinan yang sangat signifikan mempengaruhi ketahanan elektroda terhadap keausan adalah variabel PON, dimana variabel ini menunjukkan angka 40,49, lebih tinggi dibandingkan dengan variabel pemotongan lainnya. Sedangkan pada Tabel 7 menunjukkan bahwa variabel PON sangat signifikan mempengaruhi keausan benda kerja, variabel ini menunjukkan nilai 5,69, lebih tinggi dari variabel lainnya. Berikut ini adalah grafik *S/N ratio* untuk EWR dan MRR pada setiap level variabel pemotongan.



Gambar 5. Grafik Mean S/N ratio untuk EWR dan MRR.

b. Analysis of Variance (ANOVA).

Metode *taguchi* tidak dapat menentukan pengaruh dari setiap parameter terhadap proses keausan dalam suatu pengujian, oleh sebab itu kita dapat menggunakan ANOVA untuk menentukan pengaruh dari masing-masing parameter (PON, POFF, QDON dan GAP) terhadap keausan. Analisis ANOVA untuk *Electrode Wear Rate* (EWR) dan *Material Removal Rate* (MRR) ditampilkan dalam Tabel 8 dan Tabel 9 berikut ini:

Tabel 8. Analisis ANOVA untuk EWR.

No.	Machining parameters	DF	Sum of squares	Mean squares	% Contribution
1.	PON	2	0,008319	0,004159	30,67
2.	POFF	2	0,003941	0,00197	14,53
3.	QDON	2	0,007696	0,003848	28,38
4.	GAP	2	0,007163	0,003581	26,41
	Total	8	0,027119	0,013559	100

Tabel 9. Analisis ANOVA untuk MRR.

No.	Machining parameters	DF	Sum of squares	Mean squares	% Contribution
1.	PON	2	0,048274	0,024137	65,91
2.	POFF	2	0,000867	0,000433	1,18
3.	QDON	2	0,023889	0,011944	32,62
4.	GAP	2	0,000207	0,000104	0,28
	Total	8	0,073237	0,036619	100

Berdasarkan Tabel 8 dapat diketahui bahwa ketahanan keausan pada elektroda sangat di pengaruhi oleh variabel PON, sebaliknya pada Tabel 9 dapat dilihat bahwa keausan benda kerja sangat dipengaruhi oleh variabel PON. Dua hal tersebut dapat di lihat dari besarnya persen kontribusi dari masing-masing variabel. Pada Tabel 8 menunjukkan bahwa nilai variabel PON 30,67% dari total *sum of squares*, diikuti dengan QDON 28,38%, GAP 26,41% dan yang paling kecil pengaruhnya adalah POFF hanya 14,53 %. Sedangkan pada Tabel 9 sangat terlihat bahwa pengaruh variabel PON

cukup besar terhadap keausan benda kerja, yaitu 65,91% dari total *sum of squares*, diikuti dengan QDON 32,62%, POFF 1,18% dan yang paling sedikit GAP hanya 0,28%.

c. Regresi linier.

Analisis *Taguchi* memperlihatkan bahwa variabel PON sangat mempengaruhi peristiwa keausan, hal tersebut di dukung pula dengan analisis ANOVA. Analisis regresi dapat menentukan pengaruh dari masing-masing variabel pemotongan pada setiap level dengan menentukan koefisien dari masing-masing variabel pemotongan tersebut. Selain itu analisis regresi juga dapat menentukan pasangan variabel mana yang secara signifikan mempengaruhi terjadinya keausan. Tabel 10 dan Tabel 11 berikut ini menunjukkan hasil analisis regresi untuk EWR dan MRR yang di hitung menggunakan *data analysis* dari *microshoft excel* 2007.

Tabel 10. Nilai ststistik hasil analisis regresi untuk EWR.

<i>Predictor</i>	<i>Coefficient</i>	<i>Standart Error Coefficient</i>	<i>Tstat</i>	<i>P-value</i>
Konstanta	1,411349	0,310286	4,548546	7,80E-05
PON	-0,002666	0,000386	-6,906222	9,60E-08
POFF	-0,012917	0,027381	-0,471746	0,640412
QDON	-0,021944	0,027381	-0,801461	0,428965
GAP	-0,004143	0,004200	-0,986361	0,331592

Simpangan (S) = 0,40; R-Sq = 62%; R-Sq (adj) = 57%.
Rumus regresi linier untuk *Electrode Wear Rate* adalah:

$$EWR = 1,411349 - 0,002666PON - 0,012917POFF - 0,021944QDON - 0,004143GAP.$$

Tabel 11. Nilai ststistik hasil analisis regresi untuk MRR.

<i>Predictor</i>	<i>Coefficient</i>	<i>Standart Error Coefficient</i>	<i>Tstat</i>	<i>P-value</i>
Konstanta	1,788777	0,311969	5,733822	2,62E-06
PON	0,003102	0,000388	7,992967	5,03E-09
POFF	0,008889	0,027529	0,322891	0,748946
QDON	0,024861	0,027529	0,903085	0,373445
GAP	0,003677	0,004223	0,870873	0,390518

Simpang (S) = 0,40; R-Sq = 68%; R-Sq (adj) = 64%.
Rumus regresi linier untuk *Material Removal Rate* adalah:

$$MRR = 1,788777 + 0,003102PON + 0,008889POFF + 0,024861QDON + 0,003677GAP$$

Berdasarkan analisis regresi dapat dilihat bahwa *P-value* pada PON sangat kecil, yaitu nilai untuk EWR sebesar 9,60E-08 dan nilai untuk MRR sebesar 5,03E-09. Nilai ini menunjukkan tingkat kepercayaan yang sangat tinggi, yaitu mendekati 100% bahwa variabel PON sangat mempengaruhi kondisi EWR dan MRR. Sedangkan pada Tabel 12 menunjukkan pasangan variabel yang mempengaruhi MRR dan EWR dengan tingkat kepercayaan masing-masing sampai dengan 68% dan 62%.

Tabel 12. Optimum parameter untuk MRR dan EWR.

No.	Verivikasi untuk	PON	POFF	QDON	GAP	Nilai Prediksi	% R-Sq
1.	MRR Max.	400	3	9	65	3,518982	68
2.	EWR Min.	400	9	6	25	-0,0064092	62

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Analisis *Taguchi* menunjukkan bahwa ketahanan terhadap laju keausan elektroda sangat di pengaruhi oleh variabel PON dan diikuti dengan variabel QDON, GAP dan POFF.
- Laju keausan benda kerja atau *Material Removal Rate* (MRR), menurut analisis *Taguchi* juga sangat di pengaruhi oleh variabel PON dan diikuti dengan variabel QDON, GAP dan POFF.
- Analisis ANOVA juga mendukung analisis *Taguchi* baik pada *Material Removal Rate* maupun pada *Electrode Wear Rate*.
- Analisis regresi linier dengan multi variabel dapat menunjukkan pengaruh secara individual dari masing-masing variabel pemotongan terhadap EWR dan MRR.
- Analisis regresi juga dapat menunjukkan pasangan variabel yang mempengaruhi maksimum MRR dan minimum EWR seperti yang di perlihatkan pada Tabel 12.

5. REFERENSI

- [1] Bagiasna Komang, Yuwono Sigit, "Proses-proses Non Conventional", *Diktat Kuliah ITB-Bandung*.
- [2] Singh Harpreet, Singh Amandeep, 2012, "Effect of Pulse On/Pulse Off Time On Machining Of AISI D3 Die Steel Using Copper And Brass Electrode In EDM", *RESEARCH INVENTY: International Journal of Engineering and Science*, ISSN:2278-4721, Vol. 1, PP 19-22.
- [3] Gostimirovic Marin, dkk., 2012, "Influence of discharge energy on machining characteristics in EDM", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 26(1)(2012)173~179, Springer.
- [4] Wang Pei-Jen, Tsai Kuo-Ming, 2001. "Semi Empirical Model on Work Removal and Tool Wear in Electrical Discharge Machining", *Jurnal of Material Processing Technology* 114 (2001) 1-17 Elsevier.
- [5] Londa Petrus, Lalel Bernard, 2009, "Analisa Keausan Elektroda pada Proses Electrical Discharge Machining", *MeTriK polban, Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Mesin*, ISSN: 1411-0741.
- [6] Mohammdresa Shabgard, dkk., 2011, "Influence of Input Parameters on the Characteristics of the EDM Process", *Strojniski vestnik – Journal of Mechanical Engineering* 57 (2011)9, 689-696.
- [7] Lajis Amri Mohd, dkk., 2009, "The Implementation of Taguchi Method on EDM Process of Tungsten Carbide", *European Journal of Scientific Research*, ISSN 1450-216X Vol 26 No. 4, pp 609-617.
- [8] Amorim Fred L., dkk., 2007, "The Behavior of Graphite and Copper Electrodes on the Finish Die-Sinking Electrical Discharge Machining (EDM) of AISI P20 Tool Steel", *Pontifical Catholic University of Parana-PUCPR, Departement of Mechanical Engineering*, Brazil.
- [9] Meena K. L., dkk., 2013, "Parametric Effects during Nonconventional Machining of PRALSICMMC by EDM", *International Journal of Advancements in Research & Technology*, Volume 2, ISSN 2278-7763.
- [10] Tylczak H. Joseph, Oregon Albany, 1992, "Friction Lubrication and Wear Technology", *ASM International Handbook*, Volume 18.
- [11] Kubade Pravin R., Jadhav V S., 2012, "An Experimental Investigation of Electrode Wear Rate (EWR), Material Removal Rate (MRR) and Radial Overcut (ROC) in EDM of High Carbon, High Chromium Steel (AISI D3)", *International Journal of Engeneering and Advanced Technology (IJEAT)*, Volume-1, ISSN: 2249-8958.
- [12] Ross J. Phillip, 1996, "Taguchi Techniques for Quality Engineering", 2nd Ed, McGraw-Hill, New York San Francisco Washington D.C.
- [13] Gopalsamy Murugan Bala, dkk., 2009, "Taguchi Method and ANOVA: An Approach for Process Parameters Optimization of Hard Machining While Machining Hardened Steel", *Journal of Scientific & Industrial Research*, Vol. 68, pp. 686-695.