

ANALISIS SURFACE ROUGHNESS DAN MATERIAL REMOVAL RATE PADA PROSES SINKER-EDM MENGGUNAKAN ELEKTRODA GRAPHITE

ANALYSIS OF SURFACE ROUGHNESS AND REMOVAL RATE OF MATERIAL IN SINKER-EDM PROCESS USING GRAPHITE ELECTRODE

Muhamad Ardiansyah¹, Amri Abdulah² & Sukarman³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Purwakarta
Corresponding Author : 1ardiansyahmuhamad132@gmail.com, 2amri@stt-wastukencana.ac.id,
3sukarman1517@gmail.com

Abstrak. *Electrical discharge machining (EDM)* adalah suatu proses pemrosesan yang bersifat non konvensional dengan pemakanan material benda kerja yang dilakukan oleh loncatan bunga api listrik (spark) melalui celah antara elektroda dan benda kerja yang berisi cairan dielektrik. Proses EDM dipengaruhi oleh material yang diproses, material elektroda, arus discharge, spark on time, spark gap, cairan dielektrik dan sebagainya. Kombinasi parameter tersebut akan menghasilkan karakteristik hasil pemrosesan yang berbeda-beda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai parameter/faktor laju pembuangan material (*Material Removal Rate*) dan kekasaran permukaan benda kerja (*Surface Roughness*), dengan menggunakan elektroda graphite dan menggunakan metode taguchi untuk mengetahui parameter optimum dengan memvariasikan parameter arus/current 10A, 13A, 16A spark on time 210 μ , 340 μ , 400 μ dan gap 40,45,50.

Kata kunci: current, spark on time, gap, laju pembuangan bahan (MRR), kekasaran permukaan (SR), metode taguchi

Abstract. *Electrical discharge machining (EDM)* is a non-conventional machining process by feeding the workpiece material by means of an electric spark (spark) through the gap between the electrode and the workpiece containing a dielectric fluid. The EDM process is influenced by the material being processed, electrode material, discharge current, spark on time, spark gap, dielectric fluid and so on. The combination of these parameters will produce different machining characteristics. The purpose of this study was to determine the value of the material removal rate and surface roughness of the workpiece (*Surface Roughness*), using graphite electrodes and using the Taguchi method to determine the optimal parameters by varying the current parameters 10A, 13A, 16A, spark on time 210 μ , 340 μ , 400 μ and gap 40, 45, 50.

Keywords: current, spark on time, gap, material removal rate (MRR), surface roughness (SR), taguchi method

1. Pendahuluan

Electrical discharge machining (EDM) adalah proses pemrosesan termal yang dapat digunakan untuk pemrosesan material keras dengan bentuk yang kompleks. Dalam metode ini, material benda kerja terkikis oleh serangkaian percikan pelepasan antara elektroda kerja dan pahat ketika mereka direndam dalam dielektrik cair. Permukaan elektroda dipanaskan dengan sangat intensif di area saluran pembuangan. Ketika arus pelepasan terputus, saluran pelepasan segera runtuh dan logam cair pada permukaan benda kerja dan elektroda menguap secara eksplosif. Kemudian cairan pembilasan menghilangkan material dari celah pemrosesan. Proses EDM tidak dipengaruhi oleh kekerasan dan kekuatan material, tetapi memiliki tingkat penghilangan material (MRR) yang rendah sehubungan dengan proses penggilingan dan pembubutan. Ada beberapa metode untuk meningkatkan laju pemindahan material seperti meningkatkan debit arus listrik atau pulsa tepat waktu. Namun cara-cara tersebut menyebabkan kualitas permukaan dan keausan pahat menjadi lebih buruk. Pada proses EDM, laju pengikisan material benda kerja atau *material removal rate* (MRR) pada operasi EDM lebih lambat dibandingkan metode pemrosesan tradisional yang menghasilkan chips secara mekanis. Pada proses EDM, laju pengikisan material sangat tergantung dari faktor-faktor seperti besarnya arus disetiap muatan, frekuensi muatan, material elektroda, material benda kerja, kondisi flushing, dan cairan dielektrik yang digunakan. Untuk mendapatkan hasil yang baik dari proses pemrosesan EDM, ada beberapa parameter yang mempengaruhi antara lain seperti arus, tegangan, jenis material elektroda dan bahan yang akan dikerjakan. Namun dari parameter tersebut yang selalu menjadi perhatian adalah jenis material elektroda dan arus yang diberikan. Pada proses EDM,

keausan yang terjadi tidak hanya pada benda kerja akibat dari loncatan bunga api hal itu bisa saja disebabkan oleh besarnya arus listrik dan tingginya frekuensi bunga api, walaupun keausan pada yang terjadi pada permukaan elektrode hanya sedikit, namun jika proses dilakukan secara terus menerus akibatnya akan berpengaruh terhadap kepresisian produk yang dihasilkan, sehingga keausan pada elektroda dapat mengakibatkan ketelitian dimensi dari benda kerja yang dihasilkan berkurang selain itu juga dapat mengurangi efisiensi penggunaan mesin dan pemborosan material benda kerja. Proses EDM didasarkan pada energi termoelektrik. Energi ini dibuat antara benda kerja dan elektroda yang terendam dalam cairan dielektrik dengan aliran arus listrik. Benda kerja dan elektroda dipisahkan oleh celah kecil tertentu yang disebut celah percikan. Pelepasan busur berdenyut terjadi di celah ini yang diisi dengan media isolasi, lebih disukai minyak hidrokarbon seperti cairan dielektrik atau air de-ionisasi (de-mineralisasi). Dalam proses ini, tidak ada kontak langsung antara elektroda dan benda kerja sehingga menghilangkan tekanan mekanis, dan masalah getaran selama pemesinan. Penelitian ini mengambil tema penelitian tentang analisis *material removal rate* dan *surface roughness* pada proses *sinker EDM* menggunakan elektroda graphite. Penelitian dilakukan dengan menggunakan tiga variable tetap dan dua variable tidak tetap. Parameter proses sinker EDM yang digunakan yaitu current, spark on time dan gap. Variable respon/output dalam penelitian ini adalah MRR (*material removal rate*) dan *surface roughness*. Kedua variable respon dalam penelitian ini juga bisa dianggap sebagai variable terikat yang nilainya bergantung pada parameter proses sebagai variable tetapnya.

2. Kajian Pustaka

EDM

EDM merupakan proses pemesinan, dimana pahatnya yang berupa elektroda akan mengikis material benda kerja sesuai dengan bentuk pahatnya. Proses EDM dilakukan dengan sebuah sistem yang mempunyai dua komponen pokok yaitu mesin dan *power supply*. Mesin mengendalikan pahat elektroda yang bergerak maju mengikis material benda kerja dan menghasilkan serangkaian loncatan bunga api listrik yang berfrekuensi tinggi (spark). Loncatan bunga dihasilkan dari pembangkit pulse antara elektroda dan material benda kerja, yang keduanya dicelupkan dalam cairan dielektrik, akan menimbulkan pengikisan material dari material benda kerja dengan erosi panas atau penguapan. Dalam proses pemesinan dengan EDM, pelelehan dan penguapan material benda kerja mendominasi proses pengikisan material, dan meninggalkan crater yang tipis pada permukaan benda kerja.

Sinker-EDM

Dalam proses ini, benda kerja dapat dibentuk, baik dengan replikasi elektroda pahat berbentuk atau dengan gerakan tiga dimensi (3D) elektroda sederhana seperti di penggilingan atau kombinasi di atas. Bahan elektroda biasanya tembaga atau grafit. Kontrol numerik memantau kondisi celah (tegangan dan arus) dan secara sinkron mengontrol sumbu yang berbeda dan generator pulsa. Cairan dielektrik disaring untuk menghilangkan partikel puing dan produk dekomposisi.

Material Electrode

Elektroda logam seperti tembaga sangat direkomendasi karena frekuensi yang lebih tinggi diperlukan untuk mengerjakan benda kerja tersebut. Tembaga sebagai elektroda memiliki keuntungan lebih dibandingkan graphite, karena bentuk keausan ketika digunakan (discharge-dressing) lebih baik.

Tabel 1. Karakteristik Elektroda

Electrode Material	Melting Point (°c)	Resistivity	Density
		$\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$	g / mm^3
Silver Tungsten	-	0,048	0,016
Copper Tungsten	-	0,055	0,015
Copper Graphites	-	0,04	0,027
Chromium Copper	-	0,0236	0,0081
Electrolytic Copper	1083	0,0167	0,0089
Graphites	3700	0,085-0,15	0,0015-0,00018
Bronze	1060		0,0082

Steel	1539	0,0971	0,0087
-------	------	--------	--------

Material Removal Rate

Material removal rate atau laju pembuangan material adalah pelelehan dan penguapan yang terjadi pada benda kerja. Mekanisme *MRR* dari proses *EDM* yang prinsip paling banyak digunakan dan diterapkan adalah konversi energi listrik menjadi energi panas. *MRR* merupakan respon benda kerja dari parameter/*variabel EDM* dan dapat diperhitungkan dengan rumus secara *teoritis*.

$$MRR = \frac{C \cdot i}{T_m^{1.23}}$$

Dimana: *MRR* : *Material removal rate* dari *workpiece* , (*in*³/*menit*)
C : konstanta yang nilainya 5.08
i : Arus listrik, (*A*)
T_m : *Melting point temperature* benda kerja, (*°F*)

Pendekatan perhitungan lainnya *MRR* menggunakan massa *workpiece* dengan rumus :

$$MRR = \frac{W_1 - W_2}{t \cdot \rho}$$

Dimana: *MRR* : *Material removal rate* dari *workpiece* , (*mm*³/*menit*)
W₁ : Massa benda kerja sebelum dilakukan pemesinan, (*gr*)
W₂ : Massa benda kerja setelah dilakukan pemesinan, (*gr*)
t : Waktu pemesinan
ρ : *Density SPHC* = 0,00787 (*gr/mm*³)

Electrode Wear Rate

Electrode Wear Rate (EWR)/ rasio keausan elektroda adalah terminologi yang paling umum digunakan untuk mendapatkan informasi tentang keausan elektroda dan didefinisikan sebagai volume logam yang hilang dari elektroda pahat dibagi dengan volume logam yang dikeluarkan dari benda kerja. *EWR* adalah rasio jumlah material yang dipindahkan dari elektroda alat mikro dengan jumlah material yang dikeluarkan dari benda kerja berdasarkan volume. *EWR* dapat dihitung dengan rumus :

$$EWR = \frac{Wt_1 - Wt_2}{t}$$

Dimana: *EWR* : Laju keausan elektroda, (*mm*³/*min*)
Wt₁ : Berat elektroda sebelum dilakukan pemesinan, (*gr*)
Wt₂ : Berat elektroda Setelah dilakukan pemesinan, (*gr*)
t : Waktu pemesinan, (*menit*)

Pendekatan perhitungan lainnya *electrode wear* juga bisa dilakukan secara *experimental* :

$$EWR = \frac{v_0 - v_t}{t} = \frac{v_e}{t}$$

Dimana: *V_o* : Volume yang hilang dari *electrode* (*V_o*-*V_t*) (*mm*³)
V_e : Volume awal dan akhir *electrode* (*mm*³)
t : Waktu (*menit*)

Pendekatan lain untuk tingkat keausan bahan elektroda (*W_t*) dan rasio keausan (*R_w*) dengan rumus :

$$W_t = (11 \times 10^3) i T_i^{2.38}$$

$$R_w = 2.25 T_i^{-2.3}$$

Dimana: *W_t* : *Wear Rate* dari *electrode* (*mm*³/*menit*)
i : Arus listrik (*Ampere*)
T_i : *Melting point* dari *electrode* (*°C*)
T_r : Rasio *melting point* benda kerja terhadap *melting point electrode*

Rasio Keausan Electrode

Keausan elektroda dapat terjadi selama proses pemesinan *EDM* *sinking* ketika proses erosi berlangsung sebagai akibat terjadinya loncatan bunga api (*spark*). Rasio keausan elektroda (*RKE*) merupakan prosentase perbandingan antara volume elektroda yang terbuang dengan volume bahan (*material*) yang terbuang. *RKE* secara matematis dirumuskan sebagai berikut:

$$RKE (\%) = \frac{\text{Volume elektroda yang terbangun}}{\text{Volume bahan yang terbangun}} \times 100$$

Kekasaran Permukaan

kekasaran permukaan adalah penyimpangan rata-rata *aritmetik* dari garis rata-rata permukaan. Nilai kekasaran permukaan memiliki nilai kualitas (*N*) yang berbeda, nilai kualitas kekasaran permukaan telah diklasifikasikan oleh *ISO* dimana yang paling kecil adalah *N1* yang memiliki nilai kekasaran permukaan (*Ra*) $0,025 \mu m$ dan yang paling tinggi *N12* yang nilai kekasarannya $50 \mu m$. Salah satu *metode* untuk menentukan besar-kecilnya tingkat kekasaran permukaan yang sering dipakai di industri adalah dengan parameter kekasaran rata-rata aritmatik $R_a (\mu m)$ yaitu harga rata-rata aritmatik dari harga absolut jarak antara *profil* terukur dengan *profil* tengah.

Metode Taguchi

Metode *Taguchi* bertujuan untuk menekan biaya pemesinan dan *resources* seminimal mungkin. Metode *Taguchi* menjadikan produk dan proses memiliki sifat kokoh (*robust*) terhadap faktor gangguan sehingga metode ini disebut juga sebagai perancangan kokoh atau *robust design*.

Analisis S/N Ratio

Rasio S/N digunakan untuk memilih nilai level variabel proses terbesar untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari setiap respon pada eksperimen. Penggunaan Rasio S/N dilakukan untuk meminimalkan karakteristik kualitas terhadap variabel proses yang tidak dapat dikendalikan. Perhitungan rasio S/N tergantung dari jenis karakteristik kualitas, yaitu :

- Semakin kecil semakin baik (*smaller is better*) Rasio S/N

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

- Tertuju pada nilai tertentu (*nominal is best*) Rasio S/N

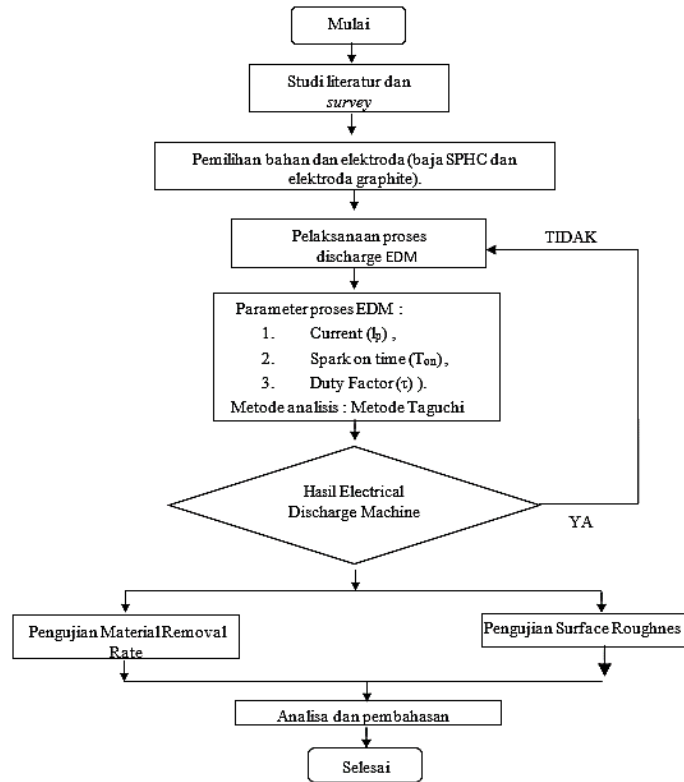
$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \right]$$

- Semakin besar semakin baik (*larger is better*) Rasio S/N

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

3. Metodologi Penelitian

Diagram Alir



Gambar 1. Diagram alir.

Alat dan Bahan

Tabel 2. Alat dan bahan

Alat	Bahan
Mesin <i>Sinker EDM</i>	Material plat <i>SPHC</i>
Neraca Digital	
<i>Surface Roughness</i>	Elektroda tembaga
Jangka Sorong	

4. Hasil dan Analisa Hasil Penelitian *EDM*



Gambar 2. Benda kerja.



Gambar 3. Nilai Parameter.



Gambar 4. Proses EDM.



Gambar 5. Hasil proses EDM.

Analisis *material removal rate*

Analisa *material removal rate* merupakan analisis proses pengerjaan untuk memperhitungkan variabel-variabel nilai parameter EDM yang dimana parameter EDM meliputi Current (I_p), Spark on time (T_{on}), Gap, yang sudah di uji pada mesin EDM dengan nilai yang sudah ada dan sudah diperhitungkan yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini:

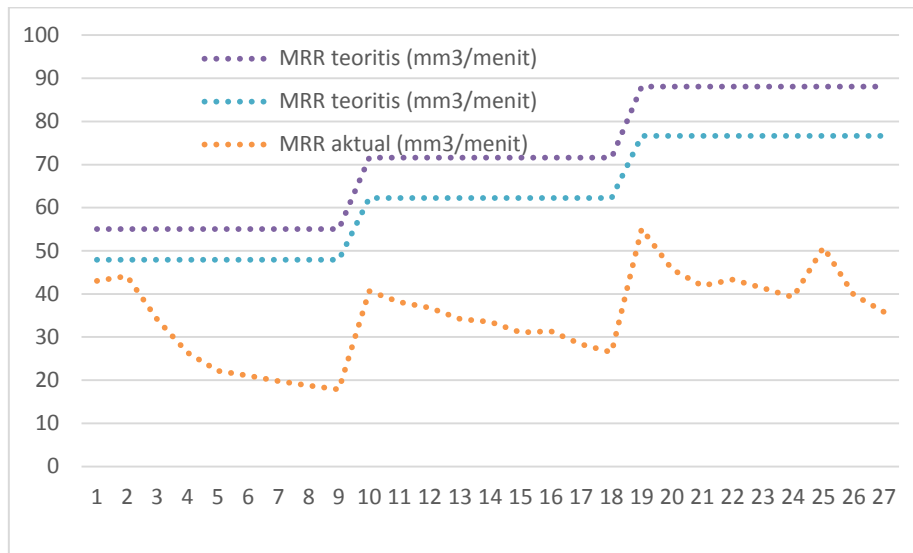
Tabel 3. Nilai perhitungan *MRR*

Run No.	Current [A]	Spark on time [ms]	Gap	massa benda kerja		MRR teoritis (mm ³ /menit)		MRR aktual (mm ³ /menit)
				Mb ₀	Mb ₁	2500 °F	2800 °F	
1	10	210	40	20.69	19.55	55.07	47.90	43.03
2	10	210	45	20.30	19.35	55.07	47.90	44.16
3	10	210	50	20.39	19.38	55.07	47.90	34.07
4	10	340	40	20.27	19.28	55.07	47.90	26.39
5	10	340	45	20.55	19.42	55.07	47.90	22.15
6	10	340	50	20.36	19.30	55.07	47.90	21.05
7	10	400	40	20.25	19.20	55.07	47.90	19.81
8	10	400	45	19.84	18.78	55.07	47.90	18.75
9	10	400	50	20.58	19.40	55.07	47.90	17.89
10	13	210	40	20.33	19.29	71.59	62.27	40.66
11	13	210	45	20.46	19.32	71.59	62.27	38.12
12	13	210	50	20.32	19.20	71.59	62.27	36.80
13	13	340	40	19.79	18.84	71.59	62.27	34.16
14	13	340	45	20.29	19.12	71.59	62.27	33.53
15	13	340	50	20.28	19.25	71.59	62.27	31.04
16	13	400	40	20.43	19.31	71.59	62.27	31.39
17	13	400	45	20.34	19.24	71.59	62.27	28.33
18	13	400	50	20.37	19.25	71.59	62.27	26.44
19	16	210	40	20.42	19.27	88.11	76.64	55.14
20	16	210	45	20.08	19.02	88.11	76.64	45.66
21	16	210	50	20.06	19.07	88.11	76.64	41.93
22	16	340	40	20.52	19.35	88.11	76.64	43.30
23	16	340	45	20.40	19.27	88.11	76.64	41.42
24	16	340	50	20.05	19.01	88.11	76.64	39.25
25	16	400	40	20.41	19.31	88.11	76.64	50.83

26	16	400	45	19.01	18.06	88.11	76.64	39.80
27	16	400	50	19.31	18.23	88.11	76.64	35.80

Perhitungan massa benda kerja yang terbang, Massa benda kerja yang terbang merupakan selisih dari massa benda kerja sebelum dan setelah proses pemesinan. Contoh perhitungan dari massa benda kerja yang terbang adalah sebagai berikut:

$$MRR = \frac{20.69 - 19.55}{3,37 \cdot 0,00787} = 43.03 \text{ mm}^3/\text{menit}$$



Gambar 6. Grafik MRR.

Pada gambar 6 Grafik MRR. Menunjukkan grafik pengaruh besar arus (A), T_{on} dan Gap terhadap laju pembuangan material. Tingkat laju pembuangan material yang paling rendah, didapatkan pada kondisi permesinan 10 (A), T_{on} 400 dan Gap 50 dengan nilai 17,89 mm^3/menit dan tingkat laju pembuangan material yang paling tinggi dengan nilai 55,14 mm^3/menit didapatkan pada kondisi permesinan 16 (A), T_{on} 210 dan Gap 40.

Analisis *Electrode Wear Rate*

Tabel 4. Nilai perhitungan *EWR*

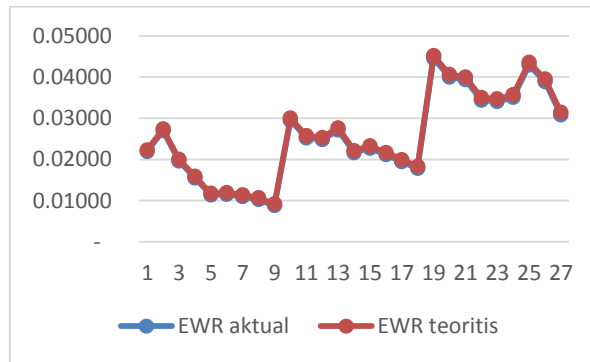
NO	Curent	Spark on Time	Gap	Massa Electrode		Waktu			EWR aktual gr/min	EWR teoritis gr/min
				Me_0	Me_1	menit	detik	menit		
1	10	210	40	46.52	46.45	3	22	3.37	0.02192	0.00038
2	10	210	45	46.45	46.37	2	44	2.73	0.02700	0.00038
3	10	210	50	46.37	46.30	3	46	3.77	0.01959	0.00038
4	10	340	40	46.30	46.22	4	46	4.77	0.01548	0.00038
5	10	340	45	46.22	46.15	6	29	6.48	0.01138	0.00038
6	10	340	50	46.15	46.08	6	24	6.40	0.01153	0.00038
7	10	400	40	46.08	46.00	6	44	6.73	0.01096	0.00038
8	10	400	45	46.00	45.93	7	11	7.18	0.01027	0.00038
9	10	400	50	45.93	45.86	8	23	8.38	0.00880	0.00038
10	13	210	40	45.86	45.76	3	15	3.25	0.02952	0.00049
11	13	210	45	45.76	45.66	3	48	3.80	0.02524	0.00049
12	13	210	50	45.66	45.57	3	52	3.87	0.02481	0.00049
13	13	340	40	45.57	45.47	3	32	3.53	0.02715	0.00049
14	13	340	45	45.47	45.38	4	26	4.43	0.02164	0.00049
15	13	340	50	45.38	45.28	4	13	4.22	0.02275	0.00049
16	13	400	40	45.28	45.18	4	32	4.53	0.02116	0.00049
17	13	400	45	45.18	45.08	4	56	4.93	0.01944	0.00049
18	13	400	50	45.08	44.99	5	23	5.38	0.01782	0.00049
19	16	210	40	44.99	44.87	2	39	2.65	0.04455	0.00060
20	16	210	45	44.87	44.75	2	57	2.95	0.04002	0.00060
21	16	210	50	44.75	44.63	3	00	3.00	0.03935	0.00060
22	16	340	40	44.63	44.52	3	26	3.43	0.03439	0.00060

23	16	340	45	44.52	44.40	3	28	3.47	0.03406	0.00060
24	16	340	50	44.40	44.28	3	22	3.37	0.03507	0.00060
25	16	400	40	44.28	44.16	2	45	2.75	0.04293	0.00060
26	16	400	45	44.16	44.04	3	02	3.03	0.03892	0.00060
27	16	400	50	44.04	43.93	3	50	3.83	0.03080	0.00060

Perhitungan massa elektroda yang terbang, massa elektroda yang terbang merupakan selisih dari massa elektroda sebelum dan setelah proses pemesinan. Contoh perhitungan dari massa elektroda yang terbang adalah sebagai berikut.

$$EWR = \frac{46,52-46,45}{3,37} = 0.02192 \text{ gr/min}$$

Pada tabel 4 dapat disimpulkan bahwa faktor current mempunyai nilai efek lebih besar terhadap keausan elektroda pada proses EDM bila dibandingkan dengan faktor yang lainnya.



Gambar 7. Grafik EWR.

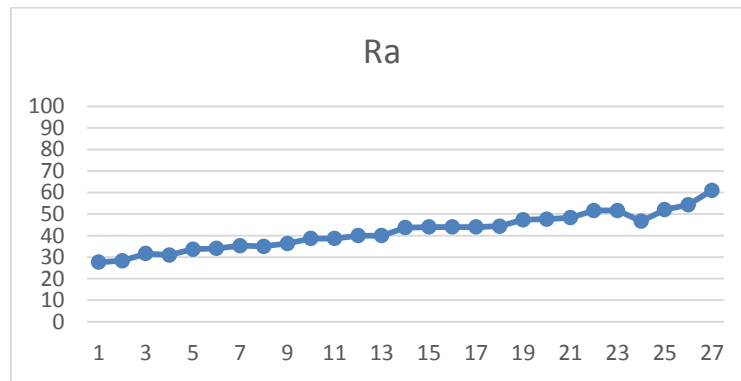
Pada gambar 7 Grafik EWR. Menunjukkan grafik pengaruh besar arus (A), T_{on} dan Gap terhadap tingkat keausan pada elektroda. Tingkat keausan elektroda yang paling rendah, didapatkan pada kondisi pemesinan 10 (A), T_{on} 400 dan Gap 50 dengan nilai 0.00880 gr/min dan tingkat keausan elektroda paling tinggi dengan nilai 0.04455gr/min didapatkan pada kondisi pemesinan 16 (A), T_{on} 210 dan Gap 40.

Analisis Surface Roughness

Tabel 5. Nilai perhitungan surface roughness

Spesimen No	Repetitions			Ra μm
	R-1	R-2	R-3	
1	30	29	24	27.67
2	33	25	27	28.33
3	30	31	34	31.67
4	37	28	28	31.00
5	29	33	39	33.67
6	36	31	35	34.00
7	37	30	39	35.33
8	37	33	35	35.00
9	37	37	35	36.33
10	39	41	36	38.67
11	36	32	48	38.67
12	35	45	40	40.00
13	35	45	40	40.00
14	54	40	37	43.67
15	40	46	46	44.00
16	49	40	43	44.00
17	36	45	51	44.00
18	42	36	55	44.33
19	45	40	57	47.33
20	55	40	48	47.67
21	39	56	50	48.33
22	45	54	56	51.67
23	55	50	50	51.67

24	40	53	47	46.67
25	53	47	56	52.00
26	57	51	55	54.33
27	57	61	65	61.00



Gambar 8. Grafik *surface roughness*.

Pada gambar 8 Grafik SR. menunjukkan grafik pengaruh besar arus (A), T_{on} dan Gap terhadap tingkat kekasaran permukaan benda kerja. Untuk polaritas positif elektroda dan polaritas negatif benda kerja, tingkat kekasaran yang paling rendah, R_a sebesar $27,67 \mu m$ didapatkan pada kondisi permesinan 10 (A), T_{on} 210 dan Gap 40 dan tingkat kekasaran permukaan paling tinggi R_a sebesar $61,00 \mu m$ didapatkan pada kondisi permesinan 16 (A), T_{on} 400 dan Gap 50.

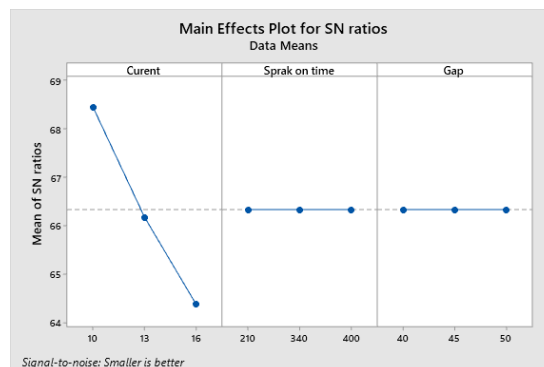
Analisis Metode Taguchi

Penelitian ini menggunakan metode taguchi dengan $L27$ *orthogonal array* memakai elektroda graphite dan benda kerja plat SPHC. S/N Ratio dan ANOVA menentukan performa parameter proses EDM dengan respon yang diteliti adalah *material removal rate* (MRR), *Surface Roughness* (SR) dan *Electrode Wear Rate* (EWR).

- Rasio S/N dan Nilai Mean pada perhitungan EWR menggunakan *smaller is better* karena keausan minimum optimal yang dibutuhkan pada elektroda.

Tabel 6. Nilai S/N Rasio pada EWR

Level	Curent	Spark on time	Gap
1	68.45	66.33	66.33
2	66.17	66.33	66.33
3	64.37	66.33	66.33
Delta	4.08	0.00	0.00
Rank	1	2.5	2.5



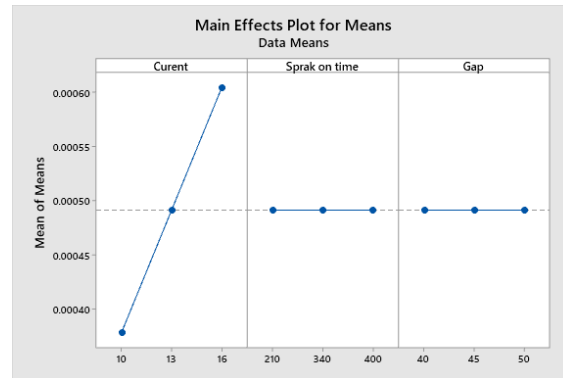
Gambar 9. Grafik S/N Rasio EWR.

Pada Tabel 4.4 memperlihatkan S/N rasio hasil dari respon efek dari parameter proses yang mempengaruhi keausan elektroda pada proses EDM yang digunakan. Terlihat bahwa di level 1 (satu) yaitu *Current* dengan nilai 68,45 yang sangat berpengaruh dan

signifikan terhadap EWR diikuti dengan *Spark On Time* di level 2(dua) dengan nilai 66,33 dan Gap di level 3(tiga) dengan nilai 66,33.

Tabel 7. Nilai S/N Rasio Mean pada EWR

Level	Curent	Sprak on time	Gap
1	0.000378	0.000491	0.000491
2	0.000491	0.000491	0.000491
3	0.000605	0.000491	0.000491
Delta	0.000227	0.000000	0.000000
Rank	1	2.5	2.5



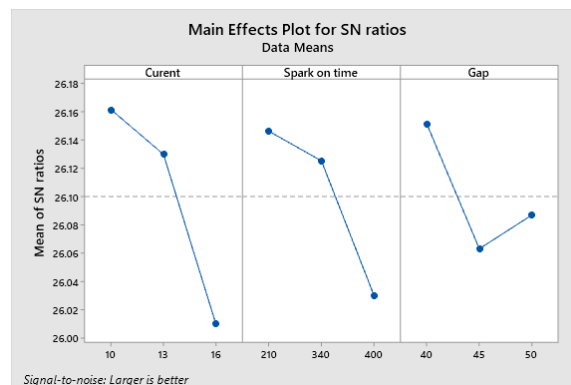
Gambar 10. Grafik *means* pada EWR.

Pada tabel 6 dan 7 dapat disimpulkan bahwa faktor current mempunyai nilai efek lebih besar terhadap keausan elektroda pada proses EDM bila dibandingkan dengan faktor lainnya sedangkan yang dibutuhkan parameter terendah untuk keausan elektroda dan parameter optimal terendah ditetapkan untuk EWR = 0.02275 mm³ /menit, pada *Curent* 13 A, *Spark on time* 340 μs, dan Gap 50 Volt.

- Rasio S/N dan Nilai Mean pada perhitungan MRR menggunakan *larger is better* karena menginginkan nilai optimal atau maksimal karena semakin besar semakin baik.

Tabel 8. Nilai S/N Rasio MRR

Level	Curent	Spark on time	Gap
1	26.16	26.15	26.15
2	26.13	26.12	26.06
3	26.01	26.03	26.09
Delta	0.15	0.12	0.09
Rank	1	2	3



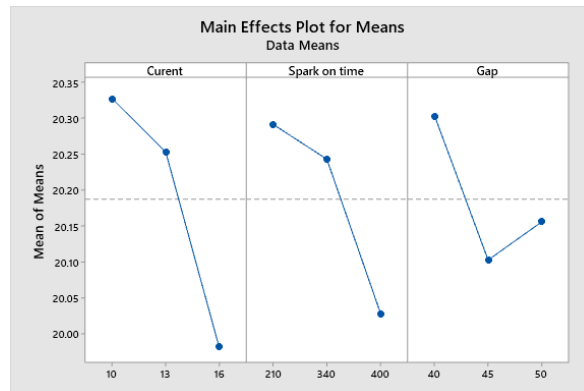
Gambar 11. Grafik S/N Rasio MRR.

Pada Tabel 8 memperlihatkan S/N Rasio hasil dari respon efek dari parameter proses yang mempengaruhi laju pelepasan bahan atau *material removal rate* (MRR) pada proses EDM yang digunakan. Terlihat bahwa di level 1 (satu) yaitu *Current* dengan nilai 26,16 yang sangat berpengaruh dan signifikan terhadap MRR diikuti dengan *Spark On Time* di level 1 (satu) dengan nilai 26,15 dan *Gap* di level 1 (satu) dengan nilai 26,15.

Tabel 9. Nilai Mean pada MRR

Level	Curent	Spark	Gap
-------	--------	-------	-----

		on time	
1	20.33	20.29	20.30
2	20.25	20.24	20.10
3	19.98	20.03	20.16
Delta	0.35	0.26	0.20
Rank	1	2	3



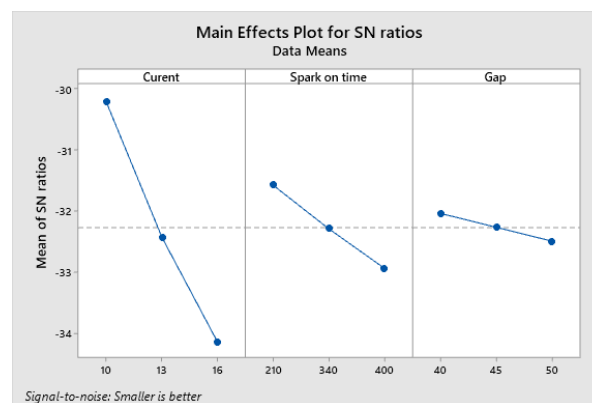
Gambar 12. Grafik Mean MRR.

Dapat disimpulkan pada table 8 dan 9 bahwa faktor *Curent* mempunyai nilai efek lebih besar terhadap kualitas pada proses EDM bila dibandingkan dengan faktor lainnya dan parameter optimal ditetapkan untuk MRR= 22.15 mm³ /menit pada *Curent* dengan nilai 10 A, *Spark on time* dengan nilai 340 μ s; dan *Gap* dengan nilai 45 Volt.

- Perhitungan Rasio S/N dilakukan untuk meminimalkan sensitivitas karakteristik kualitas terhadap faktor gangguan. Perhitungan rasio S/N untuk waktu kekasaran permukaan menggunakan tipe *Smaller is Better* atau disebut juga semakin kecil nilainya semakin baik.

Tabel 10. Nilai S/N Rasio Kekerasan Permukaan

Level	Curent	Spark on time	Gap
1	-30.22	-31.58	-32.04
2	-32.44	-32.29	-32.27
3	-34.15	-32.94	-32.50
Delta	3.94	1.36	0.45
Rank	1	2	3



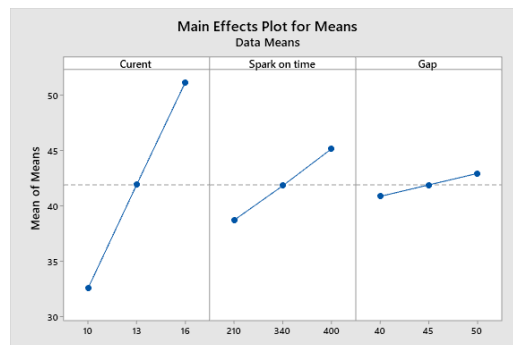
Gambar 13. Grafik S/N Rasio Kekasaran Permukaan.

Pada tabel 10 ini menunjukkan bahwa Parameter *Curent* yang optimum berada pada level 1(satu) dengan nilai-30,22, parameter *Spark on Time* yang optimum berada pada level 1(satu) dengan nilai -31,58 dan parameter *Gap* yang optimum berada pada level 1(satu) dengan nilai -32,04. Sesuai pada gambar 13 ini menunjukkan bahwa parameter yang paling berpengaruh terhadap respon kekasaran permukaan adalah parameter *Curent* dengan nilai delta yaitu 3,94.

Tabel 11. Nilai Mean Kekasaran Permukaan

Level	Curent	Spark	Gap
-------	--------	-------	-----

		on time	
1	32.56	38.70	40.85
2	41.93	41.81	41.89
3	51.19	45.15	42.93
Delta	18.63	6.44	2.07
Rank	1	2	3



Gambar 14. Grafik mean kekasaran permukaan.

Dapat disimpulkan pada tabel 10 dan 11 bahwa faktor current mempunyai nilai efek lebih besar terhadap kekasaran permukaan pada proses EDM bila dibandingkan dengan faktor lainnya sedangkan yang dibutuhkan parameter terendah untuk kekasaran permukaan dan parameter optimal terendah ditetapkan untuk SR = 27,67 μm , pada *Curent* dengan nilai 10A, *Spark on time* dengan nilai 210 μs dan *Gap* dengan nilai 40 Volt.

5. Kesimpulan

- Parameter/faktor EDM untuk menghasilkan nilai *Surface Roughnes* terkecil/optimum (*smaller is better*) pada benda kerja Plat SPHC adalah 26,67 μm pada *Curent* dengan nilai 10A, *Spark on time* dengan nilai 210 μs , dan *Gap* dengan nilai 40 Volt.
- Parameter/faktor EDM untuk menghasilkan nilai EWR terkecil/optimum (*smaller is better*) pada benda kerja Plat SPHC terendah ditetapkan untuk EWR = 0.02275 mm^3 /menit, pada *Curent* 13 A, *Spark on time* 340 μs , dan *Gap* 50 Volt.
- Parameter/faktor EDM untuk menghasilkan nilai *material removal rate* (MRR) terbesar/optimum (*Large is Better*) pada benda kerja plat SPHC ditetapkan untuk MRR= 22.15 mm^3 /menit pada *Curent* dengan nilai 10 A, *Spark on time* dengan nilai 340 μs ; dan *Gap* dengan nilai 45 Volt.

Referensi

- Destianto1, N. U. (2019). PENGARUH PARAMETER PROSES EDM DIE SINKING TERHADAP LAJU . *Jurnal ASIIMETRIK: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, 1-2.
- DF, D. (1990). Real-Time Stochastic Model and Control of EDM. *Manufacturing Teknologi*, 187-190.
- dkk, P. N. (2015). Studi Eksperimental untuk Tingkat Penghapusan Material di EDM. *Jurnal Internasional untuk Penelitian* , 4.
- Farizi Rachman, D. A. (2020). OPTIMASI LAJU KEAUSAN ELEKTRODA PADA PROSES ELEKTRICAL DISCHARGE MACHINING (EDM) SINKING MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI. *Jurnal Teknologi Maritim*, volume 3.
- Rachman1, F. (2020). OPTIMASI LAJU Pengerjaan Material AISI P20 PROSES . *Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*, vol.8.
- Rafe'i, A. (2011, September 04). EDM (*Elektrical Disharge Machining*). Retrieved from edm-electrical-discharge-machine: <https://sersasih.wordpress.com/2011/09/24/edm-electrical-discharge-machine/>
- Rajukar, k. (1984). Quantitative Expressions for Some aspects of surface Integrity of Elektro Discharge Machine. *Journal of Engineering for Industry*, vol 106-171.
- sony Harbintoro, A. S. (2018). PERENCANAAN EKSPERIMEN PADA PROSES EDM UNTUK MENGURANGI. *JurnalMetal*, 40.

- Chandramouli S. Sebuah , E. K. (2017). Konferensi Internasional Pemrosesan dan Karakterisasi Material ke-5 (ICMPC 2016). *Optimasi parameter Proses EDM dalam Machining dari 17-4 PH Baja menggunakan Metode Taguchi*.
- P.Balasubramanian , T. S. (2014). Konferensi Internasional ke-3 tentang Pemrosesan dan Karakterisasi Material (ICMPC 2014). *Optimasi Parameter Pemesinan dalam proses EDM menggunakan Cast dan Elektroda Tembaga Sinter*.
- Rafał Świercz 1, a. D.-Ś. (01 Oktober 2018). Prosiding Konferensi AIP 2017, 020032 (2018); <https://doi.org/10.1063/1.5056295>. *Optimasi Parameter Pemesinan Elektrikal Baja Alat Pemesinan Debit 1.2713*.
- Nishant K. Singh 1 Yashvir Singh 2 (Diterima: 20 Juli 2018 / Diterima: 1 Februari 2019). Jurnal Arab untuk Sains dan Teknik <https://doi.org/10.1007/s13369-019-03738-5>. Investigasi Eksperimental dan Pemodelan Permukaan Akhir pada Pemesinan Pelepasan Listrik Berbantuan Argon Menggunakan Analisis Dimensi.
- Subramanian Gopalakannan 1, . d. (Naskah Diterima 27 Mei 2012; Direvisi 4 Agustus 2013; Diterima 19 Oktober 2013). Jurnal Sains dan Teknologi Mekanik 28 (3) (2014) 1045 ~ 1053. Mengoptimalkan parameter pemesinan untuk operasi EDM berdasarkan desain komposit pusat dan pendekatan keinginan.
- Baseri, E. A. (Diterima: 16 Juni 2011 / Diterima: 12 Desember 2011 / Dipublikasikan secara online: 21 Januari 2012). Int J Adv Manuf Technol (2012) 62: 1041 - 1053 DOI 10.1007 / s00170-011-3862-9. Optimasi parameter pemesinan pada proses EDM putardengan menggunakan metode Taguchi.
- Teepu Sultan, A. K. (Diterima 15 Mei 2014; Diterima 25 Agustus 2014; Diterbitkan 23 September 2014). Jurnal Internasional Manufaktur Teknik Volume 2014, ID Artikel 259129, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/259129>. *Laju Penghilangan Material, Laju Keausan Elektroda, dan Evaluasi Kekasaran Permukaan pada EDM Die Sinking dengan Alat Berongga melalui Metodologi Permukaan Respons*, 16 halaman .
- PODDAR, A. (2012). A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF Bachelor of Technology. *EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MRR, SURFACE ROUGHNESS AND OVERCUT OF AISI 304 STAINLESS STEEL IN EDM*, 1-34.