

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

ANALYSIS OF MATERIAL REMOVAL RATE AND PROCESS ON SURFACE ROUGHNESS OF SINKER-EDM USING COPPER ELECTRODE

Andri Ahmad Syahid¹, Ghany Heryana² & Sukarman³

^{1, 2, 3} Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Purwakarta
Corresponding Author : [1andriahmadsyahid77@gmail.com](mailto:andriahmadsyahid77@gmail.com), [2ghany@stt-wastukencana.ac.id](mailto:ghany@stt-wastukencana.ac.id),
[3sukarman1517@gmail.com](mailto:sukarman1517@gmail.com)

Abstrak. Pemessinan pelepasan listrik (*EDM*) adalah salah satu metode pembuatan suku cadang yang tepat dengan bahan yang sulit dipotong. *EDM* memiliki aplikasi yang luas di industri otomotif dan kedirgantaraan . Proses pengikisan listrik terdiri dari pemindahan material dari benda kerja akibat adanya pelepasan muatan listrik yang terjadi antara elektroda kerja dan permukaan benda kerja. Elektroda dan benda kerja dihubungkan ke generator muatan listrik. Skripsi ini menyajikan hasil penelitian secara *experimental* pada *electrical discharge machining (EDM)*, Yang dimana bahan benda kerja adalah plat SPHC dan elektroda tembaga. Metode yang digunakan dalam percobaan ini yaitu metode *taguchi* untuk mengetahui parameter optimum dengan memvariasikan parameter arus (7A, 12A dan 15A), *spark on time* (210 μ s, 340 μ s dan 400 μ s) , *Gap*(50V, 45V dan 40V). Kinerja proses diukur dalam hal ini adalah *Material Removal Rate* dan *Surface Roughness*. Hasil percobaan dengan metode *taguchi* menunjukkan bahwa *MRR* optimal terbesar adalah 82,10 mm^3/menit pada arus=15 A; *Spark on time*= 340 μ s; *gap*= 50 Volt. Untuk nilai optimal *SR* terkecil adalah 26,00 μm pada arus 7 A; *Spark on time*= 210 μ s; *gap*= 45 Volt.

Keywords : *EDM*, Plat SPHC, elektroda tembaga, *MRR*, *SR*, metode *taguchi*.

Abstract. Electrical discharge machining (EDM) is one method of manufacturing precise parts with materials that are difficult to cut. EDM has wide applications in the automotive and aerospace industries. The process of electrical erosion consists of the removal of material from the workpiece due to an electric discharge that occurs between the work electrode and the workpiece surface. The electrodes and the workpiece are connected to an electric charge generator. This thesis presents the results of experimental research on electrical discharge machining (EDM), in which the workpiece material is SPHC plate and copper electrodes. The method used in this experiment is the Taguchi method to determine the optimal parameters by varying the current parameters (7A, 12A and 15A), spark on time (210 s, 340 s and 400 s), Gap (50V, 45V and 40V). Process performance measured in this case is the Material Removal Rate and Surface Roughness. The results of the experiment using the Taguchi method showed that the largest optimal MRR was 82.10 mm^3/min at current=15 A; Spark on time= 340 s; gap= 50 volts. For the smallest optimal value of SR is 26.00 μm at 7 A current; Spark on time= 210 s; gap= 45 volts.

Keywords: *EDM*, SPHC plate, copper electrode, *MRR*, *SR*, *taguchi* method

1. Pendahuluan

Pemessinan pelepasan listrik (*EDM*) adalah salah satu metode pembuatan suku cadang yang tepat dengan bahan yang sulit dipotong. *EDM* memiliki aplikasi yang luas di industri otomotif dan kedirgantaraan . *EDM* ditemukan pada tahun 1770 ketika ilmuwan Inggris *Joseph Priestley* menemukan efek erosi muatan listrik pada logam. Namun, baru pada tahun 1944 ilmuwan Rusia *BR Lazarenko* dan *Ni Lazarenko* mengembangkan metode pengendalian efek erosi material, yang memungkinkannya digunakan dalam proses produksi. Pemessinan pelepasan listrik diklasifikasikan sebagai pemessinan non-konvensional seperti pemessinan laser *elektrokimia* , pemessinan *hybrid* . Proses pengikisan listrik terdiri dari pemindahan material dari benda kerja akibat adanya pelepasan muatan listrik yang terjadi antara elektroda kerja dan permukaan benda kerja. Elektroda dan benda kerja dihubungkan ke generator muatan listrik. Mekanisme pemindahan material terutama merupakan hasil dari energi panas pelepasan listrik. Kenaikan suhu lokal menyebabkan peleburan dan penguapan di lapisan dari permukaan benda kerja dan elektroda kerja. Panas juga menyebabkan cairan *dielektrik* menguap dan menyebabkan gelombang bertekanan tinggi yang membilas logam cair dan menguap.

Penelitian di bidang *EDM* dilakukan untuk mencari nilai parameter proses terbaik selama pembuatan bagian benda kerja. Optimasi proses pemesinan memerlukan pembangunan model matematis dari proses ini, yang mengekspresikan ketergantungan fungsional parameter dalam kaitannya dengan parameter proses yang dapat disesuaikan. Optimasi proses dapat diwujudkan dengan *response surfacemethodology*, *Taguchi analyses*, *artificial network*, *grey-based response surface methodology*, *deringer disarable* atau *hybrid methods*. Namun, penelitian yang dilakukan terutama mengacu pada menemukan titik optimal untuk kekasaran permukaan dan MRR pada benda kerja sebagai bahan penelitian.

2. Kajian Pustaka

EDM (Electrical Discharge Machine)

Electric Discharge Machining (EDM) atau Pemesinan Pelepasan Listrik dapat diklasifikasikan sebagai perawatan non-konvensional seperti perawatan laser *elektrokimia* dan pemesinan *hybdri*. Pemesinan Pelepasan Listrik adalah proses *termo-elektrik* dan salah satu metode pemesinan tingkat lanjut.

Sinker EDM

Sinker EDM terdiri dari elektroda dan benda kerja yang terendam dalam cairan isolasi seperti minyak atau lebih jarang cairan *dielektrik* lainnya. Elektroda dan benda kerja yang terhubung ke catu daya yang sesuai. Bunga api ini biasanya menyerang satu per-satu kali karena sangat kecil kemungkinannya bahwa lokasi yang berbeda dalam ruang antar-elektroda memiliki sangat identik karakteristik listrik lokal yang memungkinkan percikan terjadi secara bersamaan di semua lokasi tersebut. Sebagai dasar logam terkikis, dan celah elektroda kemudian meningkat, elektroda diturunkan secara otomatis oleh mesin sehingga proses dapat terus berlanjut tanpa gangguan. Beberapa ratus ribu bunga api terjadi setiap detiknya dalam proses ini. Pengaturan yang tepat waktu menentukan durasi percikan. Oleh karena itu, pada waktu yang lebih lama menghasilkan rongga yang lebih mendalam untuk itu dan semua percikan bunga api berikutnya untuk menciptakan siklus kasar pada benda kerja selesai.

Elektroda EDM

Secara teoritis setiap material yang bersifat *konduktor* dapat digunakan sebagai elektroda pada proses *EDM*. Fungsi elektroda adalah menghantarkan tegangan listrik dan mengerosi benda kerja menjadi bentuk yang diinginkan. Bahan elektroda yang berbeda memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap proses pemesinan. Secara umum elektroda untuk *tool* pada proses *EDM* dibagi menjadi dua, yaitu kelompok *metalik* dan *grafit*. Beberapa logam dari kelompok *metalik* yang biasanya digunakan sebagai elektroda antara lain *brass/zinc*, *Copper*, *Tungsten*, *Copper Tungsten*, dan *Silver Tungsten*.

Material SPHC

SPHC adalah material baja *plate* komersial yang berkualitas. Material baja *plate* merupakan material berbentuk lembaran *carbon steel* (baja karbon), baja canai panas (*Hot Rolled Steel*). *SPHC* merupakan material yang didefinisikan dalam standar *JIS G 3131*. *JIS G 3131* adalah standar bahan jepang untuk baja ringan atau baja *carbon*.

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*)

SPHC merupakan baja karbon rendah sehingga *melting point temperature* material adalah (1371-1540°C) atau (2500-2800°F). Pendekatan perhitungan lainnya *MRR* menggunakan massa benda kerja dengan rumus secara aktual,

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

Dimana: *MRR* : *Material removal rate* dari *workpiece* , (mm^3 /menit)
 W_1 : Massa benda kerja sebelum dilakukan pemesinan, (gr)
 W_2 : Massa benda kerja setelah dilakukan pemesinan, (gr)
 t : Waktu pemesinan
 ρ : *Density SPHC* = 0,00787 (gr/mm^3)

EWR (*Electrode Wear Rate*) juga merupakan respon elektroda terhadap parameter penelitian *EDM*. Keausan elektroda merupakan faktor penting karena mempengaruhi akurasi dimensi dan bentuk benda kerja yang dihasilkan. *EWR* dapat dihitung dengan rumus secara teoritis,

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

Dimana : W_t : *Wear rate* dari *electrode* , (mm^3 /menit)
 i : Arus listrik, (A)
 T_t : *Melting point* dari *electrode*, (°C)

Pendekatan perhitungan lainnya *EWR* menggunakan massa elektroda dengan rumus secara aktual,

$$EWR = \frac{W_{t_1} - W_{t_2}}{t}$$

Dimana: *EWR* : Laju keausan elektroda, (mm^3 /min)
 W_{t_1} : Berat elektroda sebelum dilakukan pemesinan, (gr)
 W_{t_2} : Berat elektroda Setelah dilakukan pemesinan, (gr)
 t : Waktu pemesinan, (menit)

Surface Roughness

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 μm dan yang paling tinggi *N12* yang nilai kekasarannya 50 μm . Salah satu *metode* untuk menentukan besar-kecilnya tingkat kekasaran permukaan yang sering dipakai di industri adalah dengan parameter kekasaran rata-rata aritmatik R_a (μm) yaitu harga rata-rata aritmatik dari harga absolut jarak antara *profil* terukur dengan *profil* tengah. Dapat diperhitungkan dengan rumus

$$R_a = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n}{n}$$

Dimana: R_a : nilai kekasaran aritmatika.
 h_n : tinggi atau dalam bagian-bagian *profil* hasil pengukuran jarum peraba.
 n : *frekuensi* pengukuran.
 L : panjang sampel yang telah ditentukan.

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*.

Signal To Noise Ratio (S/N)

Rasio *S/N* digunakan untuk memilih nilai level variabel proses terbesar untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari setiap respon pada eksperimen. Semakin kecil semakin baik (*smaller is better*) Rasio *S/N* untuk karakteristik ini dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

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

Tertuju pada nilai tertentu (*nominal is best*) Rasio S/N untuk karakteristik ini dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

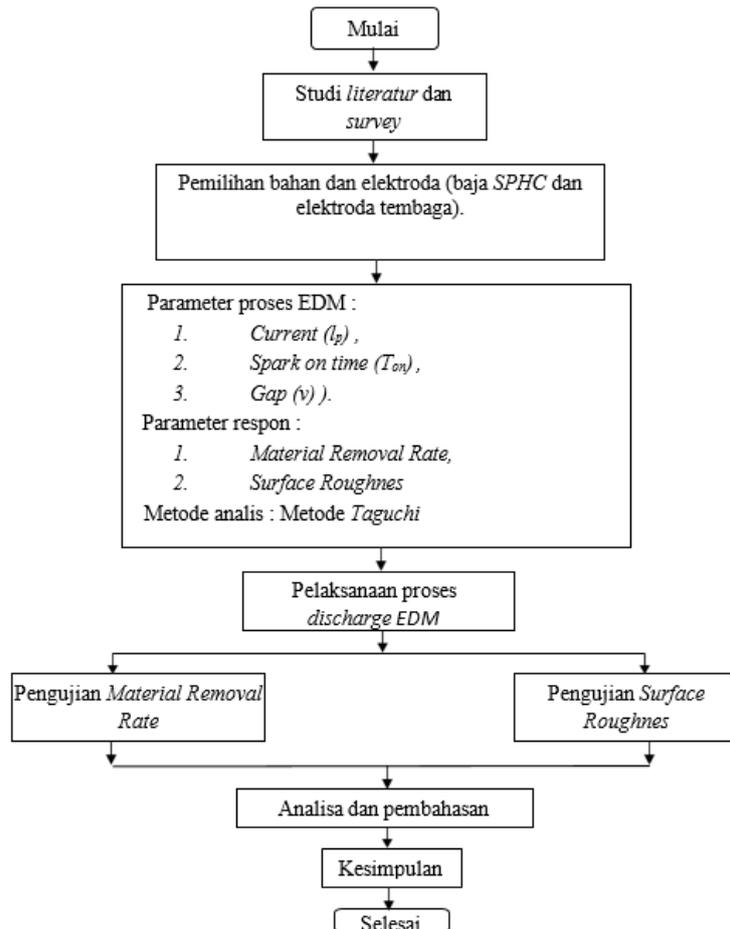
$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \right]$$

Semakin besar semakin baik (*larger is better*) Rasio S/N untuk karakteristik ini dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

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

3. Metodologi Penelitian

Diagram Alir



Gambar 3. Diagram alir.

Alat dan Bahan Penelitian

Tabel 3. Alat dan bahan penelitian

Alat	Bahan
Mesin Sinker EDM	Material plat SPHC
Timbangan (gr)	Elektroda tembaga
Jangka Sorong	

Pendekatan Penelitian

Mengenali permasalahan. Tahapan ini diawali dengan melakukan identifikasi permasalahan hingga didapat suatu hipotesa yang dapat menjawab permasalahan tersebut.

- Memilih variabel respon. Variabel respon adalah variabel tidak bebas, yaitu variabel yang dipengaruhi oleh level variabel proses atau kombinasi level dari variabel proses.
- Menentukan variabel proses dan level. Tahapan ini memerlukan pengetahuan yang lebih mengenai permasalahan yang akan diteliti agar variabel proses dan level yang ditentukan tidak menyimpang jauh dari hasil yang diinginkan.

- Memilih metode desain eksperimen. Metode desain eksperimen harus disesuaikan dengan tujuan penelitian dan permasalahan yang ada. Ada beberapa metode desain eksperimen yang sering digunakan yaitu desain faktorial, metode Taguchi dan metode permukaan respon. Dalam penelitian ini akan digunakan metode *Taguchi*.
- Melaksanakan Percobaan. Selama percobaan dilaksanakan, proses harus diamati dengan cermat agar percobaan berjalan sesuai rencana.
- Menganalisis Data.

4. Hasil dan Analisa Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian benda kerja dan elektroda kemudian dilakukan penimbangan diperoleh hasil ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. Hasil penimbangan MMR dan EWR

Run No.	Current [A]	Spark on time [μ s]	Gap [V]	Massa Benda kerja		Massa Electrode		Waktu Min	EWR Aktual mm3/min	EWR Teoritis mm3/mint
				W1	W2	Wt1	Wt2			
1	7	210	50	20,84	19,14	155,09	155,07	7,75	0,00257	0,00461
2	7	210	45	20,52	19,55	155,07	155,05	6,70	0,00297	0,00461
3	7	210	40	20,44	19,56	155,05	155,03	5,65	0,00352	0,00461
4	7	340	50	20,28	19,48	155,03	155,01	8,00	0,00249	0,00461
5	7	340	45	20,54	19,44	155,01	154,99	10,10	0,00197	0,00461
6	7	340	40	20,27	19,28	154,99	154,97	7,52	0,00265	0,00461
7	7	400	50	20,44	19,38	154,97	154,95	9,58	0,00208	0,00461
8	7	400	45	20,25	19,27	154,95	154,93	8,38	0,00237	0,00461
9	7	400	40	20,57	19,45	154,93	154,91	9,05	0,0022	0,00461
10	12	210	50	20,23	19,22	154,91	154,88	2,35	0,01452	0,00791
11	12	210	45	20,42	19,53	154,88	154,84	2,43	0,01402	0,00791
12	12	210	40	20,39	19,33	154,84	154,81	2,53	0,01347	0,00791
13	12	340	50	20,28	19,35	154,81	154,77	2,57	0,01329	0,00791
14	12	340	45	20,07	19,18	154,77	154,74	2,23	0,01528	0,00791
15	12	340	40	20,28	19,14	154,74	154,71	2,30	0,01483	0,00791
16	12	400	50	20,52	19,19	154,71	154,67	2,87	0,0119	0,00791
17	12	400	45	20,18	19,14	154,67	154,64	2,40	0,01422	0,00791
18	12	400	40	20,62	19,44	154,64	154,60	2,58	0,01321	0,00791
19	15	210	50	20,23	19,14	154,60	154,56	1,70	0,02509	0,00989
20	15	210	45	20,37	19,33	154,56	154,52	1,68	0,02533	0,00989
21	15	210	40	20,41	19,38	154,52	154,48	1,62	0,02638	0,00989
22	15	340	50	20,91	19,65	154,48	154,43	1,95	0,02187	0,00989
23	15	340	45	20,37	19,39	154,43	154,39	1,73	0,0246	0,00989
24	15	340	40	20,27	19,27	154,39	154,35	1,60	0,02665	0,00989
25	15	400	50	20,58	19,49	154,35	154,30	1,90	0,02245	0,00989
26	15	400	45	20,35	19,38	154,30	154,26	1,72	0,02484	0,00989
27	15	400	40	20,22	19,32	154,26	154,22	1,70	0,02509	0,00989

Perhitungan MRR

Untuk perhitungan *MRR* secara teoritis yaitu menelaah dengan besarnya arus pada proses *EDM*. Maka hasil *MRR* teoritis dengan temperatur (2,500°F – 2,800 °F) pada parameter ke-1 adalah:

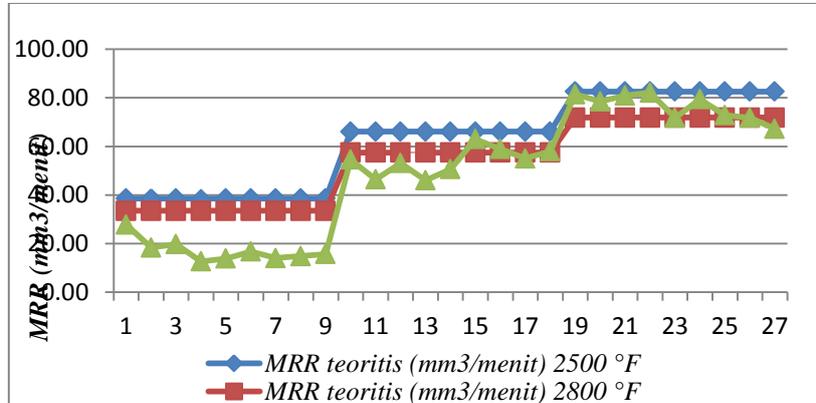
$$MRR = \frac{5,08 \times 7}{2,500^{1,23}} = 0,0024 \text{ in}^3/\text{menit} \approx 38,55 \text{ mm}^3/\text{menit}$$

$$MRR = \frac{5,08 \times 7}{2,800^{1,23}} = 0,0020 \text{ in}^3/\text{menit} \approx 33,53 \text{ mm}^3/\text{menit}$$

Untuk perhitungan *MRR* secara aktual yaitu menelaah dengan berat benda kerja sebelum proses dan sesudah proses *EDM*. Maka hasil *MRR* aktual pada parameter ke-1 adalah:

$$MRR = \frac{20,84 - 19,14}{7,75 \cdot 0,00787} = 27,87 \text{ mm}^3/\text{menit}$$

Jadi untuk perhitungan *MRR* secara *teoritis* selanjutnya dari (1-27) seperti apa yang telah dituliskan diatas.



Gambar 4. Grafik *MRR*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum dengan bertambahnya arus dan perbedaan, *spark on time*, dan *gap* maka laju pemakanan material mengalami kenaikan. Bertambahnya laju pengikisan material dengan adanya kenaikan arus adalah merupakan fakta dimana energi dari loncatan bunga api listrik yang makin besar sehingga akan menyebabkan bertambahnya aksi pelelehan dan penguapan material, dan akhirnya juga menyebabkan gaya dorong yang makin besar pada celah antara material dan elektroda. Serta menyatakan bahwa faktor yang mempengaruhi *MRR* adalah besarnya arus listrik dari elektroda, arus listrik yang tinggi akan menghasilkan *MRR* yang tinggi karena dengan besarnya arus akan meningkatkan energi *discharge* yang menyebabkan pelelehan lokal pada area benda kerja yang dikerjakan.

Perhitungan *EWR*

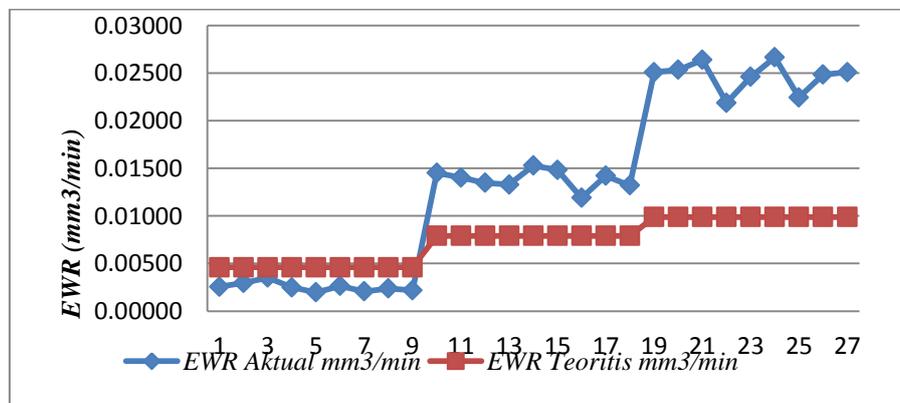
Untuk perhitungan *EWR* secara teoritis menelaah dengan besarnya arus pada proses *EDM*. maka hasil *EWR* secara teoritis adalah :

$$EWR = (11 \times 10^3)^7 \cdot 1083^{-2,8} = 0,00461 \text{ mm}^3/\text{min}$$

Untuk perhitungan *EWR* secara aktual yaitu menelaah dengan berat elektroda sebelum proses dan sesudah proses *EDM*. Maka hasil *EWR* aktual pada parameter ke-1 adalah:

$$EWR = \frac{155,09 - 155,07}{7,75} = 0,00257 \text{ mm}^3/\text{min}$$

Jadi untuk perhitungan *EWR* aktual selanjutnya dari (1-27) seperti apa yang telah dituliskan diatas.



Gambar 5. Grafik *EWR*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa makin tinggi arus maka keausan elektroda juga akan makin meningkat, tetapi dengan elektroda tembaga dapat dikatakan mempunyai keausan yang cukup kecil, dikarenakan titik leleh material tembaga mencapai 1083 °C. Pada proses EDM elektron sebagai *ion negatif* akan menyerang/menabrak permukaan elektroda dan menimbulkan energi yang cukup besar pada permukaan elektroda, sehingga material elektroda yang mempunyai titik leleh tinggi akan mempunyai keausan yang lebih kecil. Keausan pada elektroda terutama disebabkan karena energi dari elektron, pengaruh panas, getaran mekanik yang dihasilkan oleh partikel-partikel logam dan ketidak-sempurnaan struktur *mikro* dari material elektroda.

Analisis Surface Roughness

Analisis *surface roughness* merupakan analisis kekasaran permukaan yang dimana analisis kekasaran permukaan tersebut hasil dari proses pengujian *material removal rate* yang telah di uji pada mesin *sinker EDM*.

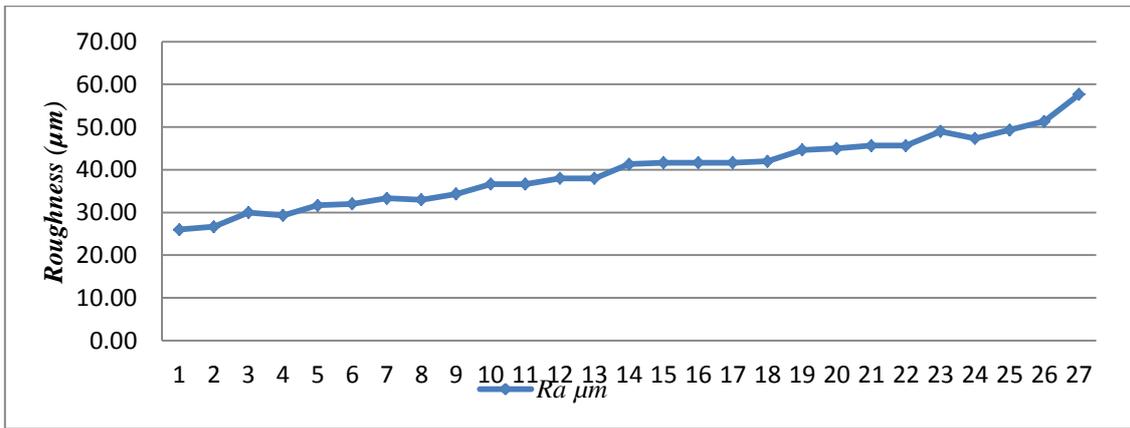
Tabel 5. Hasil Surface Roughness

SPECIMENT NO.	Pengujian Roughness			Ra (μm)
	R-1	R-2	R-3	
1	24	30	24	26,00
2	25	33	22	26,67
3	30	34	26	30,00
4	28	37	23	29,33
5	27	39	29	31,67
6	29	36	31	32,00
7	31	39	30	33,33
8	29	37	33	33,00
9	35	37	31	34,33
10	36	41	33	36,67
11	32	48	30	36,67
12	45	35	34	38,00
13	45	35	34	38,00
14	54	37	33	41,33
15	46	40	39	41,67
16	49	40	36	41,67
17	51	36	38	41,67
18	55	35	36	42,00
19	57	37	40	44,67
20	55	40	40	45,00
21	56	42	39	45,67
22	54	38	45	45,67
23	50	55	42	49,00
24	40	63	39	47,33
25	45	56	47	49,33
26	46	57	51	51,33
27	51	65	57	57,67

Untuk perhitungan SR mencari nilai R_a

$$R_a = \frac{24+30+24}{3} = \frac{78}{3} = 26,00 \mu\text{m}$$

Jadi untuk perhitungan SR selanjutnya dari (1-27) seperti apa yang telah dituliskan diatas.



Gambar 6. Grafik SR.

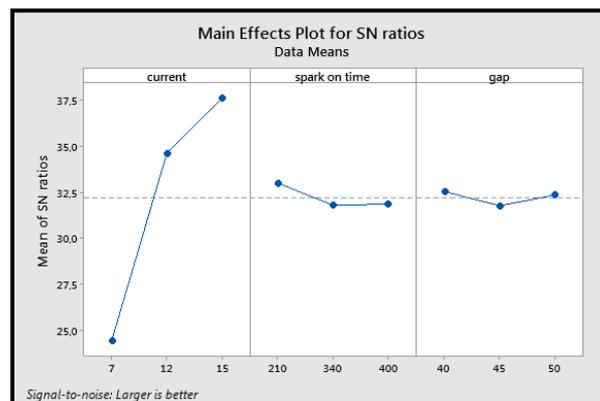
Hasil penelitian menunjukkan grafik pengaruh besar arus (A), T_{on} dan Gap terhadap tingkat kekasaran permukaan benda kerja. Untuk polaritas *positif* elektroda dan polaritas *negatif* benda kerja, tingkat kekasaran yang paling rendah, R_a sebesar $2,6 \mu\text{m}$ didapatkan pada kondisi permesinan 7 (A), T_{on} 210 dan Gap 50 dan tingkat kekasaran permukaan paling tinggi R_a sebesar $5,8 \mu\text{m}$ didapatkan pada kondisi permesinan 15 (A), T_{on} 400 dan Gap 40. Penambahan besar arus (A), T_{on} dan Gap menunjukkan adanya kecenderungan permukaan benda kerja menjadi semakin kasar. Bila besar arus (A) dan waktu pelepasan energi (T_{on}) dan Gap maka material benda kerja yang tercairkan juga semakin banyak sehingga menghasilkan permukaan benda kerja dengan cekungan yang lebih luas dan dalam. Pada polaritas *positif* elektroda dan polaritas *negatif* benda kerja, cekungan yang terbentuk juga lebih dalam dan hal tersebut akan memberikan pengaruh pada semakin kasarnya permukaan benda kerja.

Analisis Metode Taguchi

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

Tabel 6. Response Table for Signal to Noise Ratio MRR

Level	current	spark on time	gap
1	24,43	33,00	32,54
2	34,60	31,79	31,77
3	37,63	31,86	32,35
Delta	13,20	1,21	0,76
Rank	1	2	3

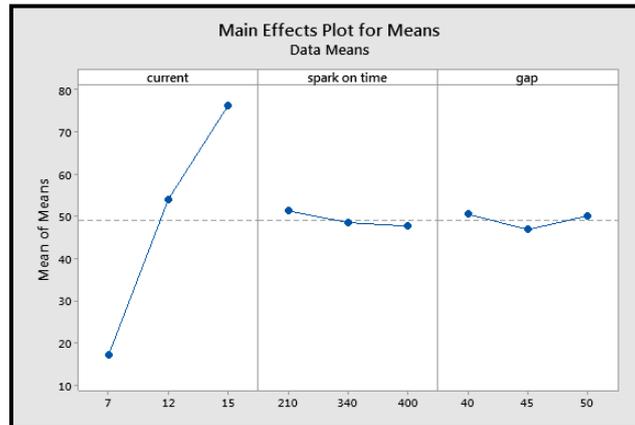


Gambar 7. Grafik main effect plot S/N Ratio pada MRR.

Tabel 6 dan gambar 7 memperlihatkan S/N rasio hasil dari respon efek dari parameter proses yang mempengaruhi laju pelepasan bahan atau MRR pada proses EDM yang digunakan. Terlihat bahwa peringkat-1 yaitu current yang sangat berpengaruh dan signifikan terhadap MRR diikuti dengan Spark On Time diperingkat-2 dan gap diperingkat-3. Pada tabel 7 dan gambar 8 diperlihatkan nilai mean MRR.

Tabel 7. Response Table for Means MRR

Level	current	spark on time	gap
1	17,11	51,25	50,45
2	54,00	48,48	46,82
3	76,25	47,63	50,08
Delta	59,14	3,62	3,63
Rank	1	3	2



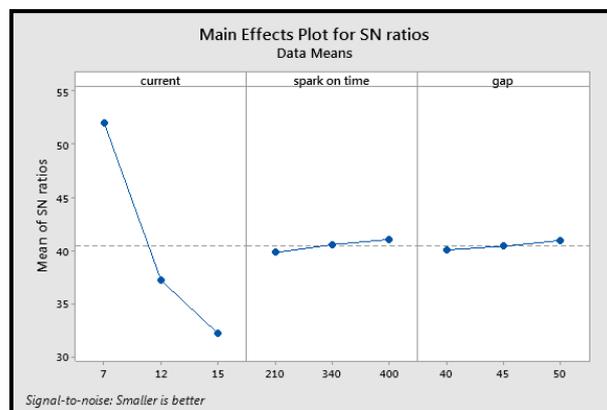
Gambar 8. Grafik main effect plot Mean pada MRR.

Dari tabel 6 dan 7 dapat disimpulkan bahwa faktor current mempunyai nilai efek lebih besar terhadap kualitas pada proses EDM bila dibandingkan dengan faktor lainnya dan parameter optimal ditetapkan untuk $MRR = 82,10 \text{ mm}^3/\text{menit}$ pada arus = 15 A; Spark on time = 340 μs ; gap = 50 Volt.

S/N Rasio dan nilai mean pada perhitungan EWR menggunakan *Smaller is better* karena menginginkan nilai optimal atau maksimal karena semakin kecil semakin baik untuk keausan elektroda.

Tabel 8. Response table for Signal to Noise Ratio EWR

Level	current	spark on time	gap
1	52,05	39,80	40,04
2	37,19	40,56	40,41
3	32,16	41,04	40,95
Delta	19,89	1,25	0,90
Rank	1	2	3



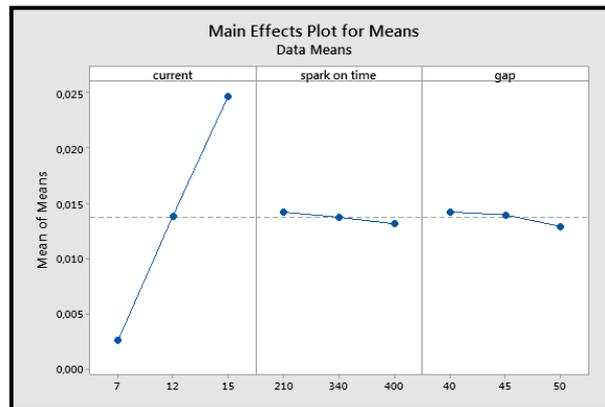
Gambar 9. Grafik main effect plot S/N Ratio pada EWR.

Pada tabel 8 dan gambar 9 memperlihatkan S/N rasio hasil dari respon efek dari parameter proses yang mempengaruhi keausan elektroda pada proses EDM yang digunakan. Terlihat bahwa peringkat-1 yaitu *current* yang sangat berpengaruh dan signifikan terhadap EWR

diikuti dengan *Spark On Time* diperingkat-2 dan *gap* diperingkat-3. Pada tabel 9 diperlihatkan nilai *mean EWR*.

Tabel 9. *Response Table for means EWR*

Level	current	spark on time	gap
1	0,002535	0,014208	0,014222
2	0,013859	0,013738	0,013957
3	0,024701	0,013150	0,012916
Delta	0,022165	0,001058	0,001306
Rank	1	3	2



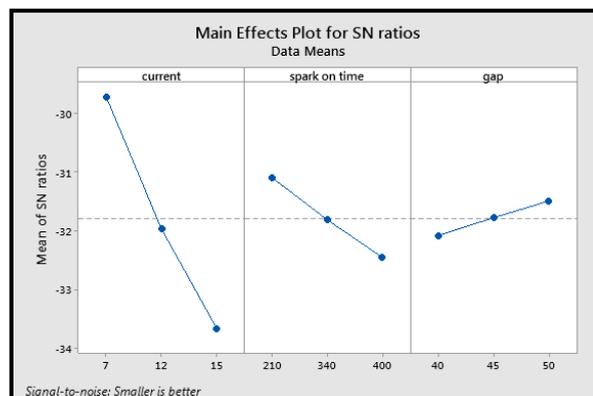
Gambar 10. Grafik *main effect plot mean* pada *EWR*.

Dari tabel 8 dan 9 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 $EWR = 0,01190 \text{ mm}^3/\text{menit}$ pada arus=12 A; *Spark on time*= 400 μs ; *gap*= 45 Volt.

S/N Rasio dan nilai mean pada perhitungan *SR* menggunakan *Smaller is better* karena menginginkan nilai optimal atau maksimal karena semakin kecil semakin baik untuk kekasaran permukaan.

Tabel 10. *Response Table for signal to Noise Ratio SR*

Level	current	spark on time	gap
1	-29,71	-31,09	-32,08
2	-31,97	-31,81	-31,78
3	-33,67	-32,45	-31,49
Delta	3,96	1,37	0,59
Rank	1	2	3



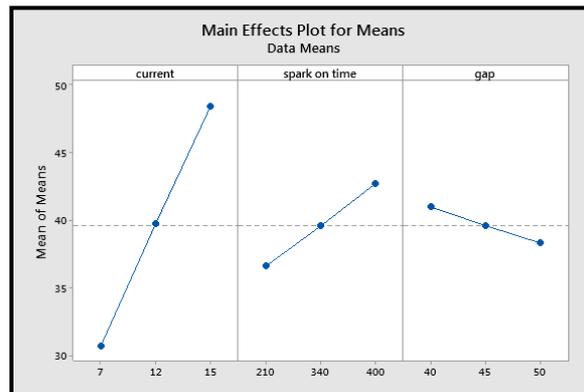
Gambar 11. Grafik *main effect plot S/N ratio* pada *SR*

Pada tabel 10 dan gambar 11 memperlihatkan *S/N* rasio hasil dari respon efek dari parameter proses yang mempengaruhi kekasaran permukaan pada proses *EDM* yang digunakan. terlihat bahwa peringkat-1 yaitu *current* yang sangat berpengaruh dan signifikan

terhadap *SR* diikuti dengan *Spark On Time* diperingkat-2 dan *gap* diperingkat-3. Pada tabel 11 diperlihatkan nilai *mean MRR*.

Tabel 11. *Response table for means SR*

Level	current	spark on time	gap
1	30,70	36,59	40,96
2	39,74	39,56	39,59
3	48,41	42,70	38,30
Delta	17,70	6,11	2,67
Rank	1	2	3



Gambar 12. Grafik *main effect plot mean* pada *SR*.

Dari tabel 10 dan 11 dapat disimpulkan 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 $SR = 26,00 \mu m$ pada arus=7 A; *Spark on time*=210 μs ; *gap*= 45 Volt.

5. Kesimpulan

Penelitian ini memberikan kesimpulan bahwa pengaruh pada proses *EDM*:

- Pengaruh parameter/faktor *EDM* untuk menghasilkan nilai *MRR* terbesar/optimum dan signifikan pada *SN/Ratio* (*large is better*) pada benda kerja Plat *SPHC* adalah $82,10 mm^3/menit$ pada arus=15 A; *Spark on time*= 340 μs ; *gap*= 50 Volt.
- Pengaruh parameter/faktor *EDM* untuk menghasilkan nilai *EWR* terkecil/optimum dan signifikan pada *SN/Ratio* (*smaller is better*) pada benda kerja Plat *SPHC* adalah = $0,01190 mm^3/menit$ pada arus 12 A; *Spark on time*= 400 μs ; *gap*= 45 Volt.
- Pengaruh parameter/faktor *EDM* untuk menghasilkan nilai *SR* terkecil/optimum dan signifikan pada *SN/Ratio* (*smaller is better*) pada benda kerja Plat *SPHC* adalah $26,00 \mu m$ pada arus 7 A; *Spark on time*= 210 μs ; *gap*= 45 Volt.

Referensi

- Andi sudiarso, M. m. (2015). *Advanced Machining Process (Non-Convventional)*. yogyakarta: Gadjah Mada University Press IKAPI Member.
- Rahayu, B. M. (2015). *optimasi multi respon pada proses electrical discharge machining (EDM) sinking material baja perkakas DAC menggunakan metode taguchi-grey-fuzzy*, 1-157.
- Nafsan Upara, D. R. (oktober 2017). *Aplikasi metoda taguchi untuk optimasi parameter electrical discharge machining pada benda kerja baja SKS3*, vol.11 no.2 : 129-140.
- 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 Resposns*, 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.
- Petrus Londa / ROTASI, Vol. 21 No. 1 (Januari 2019). Analisa MRR, EWR, DOC terhadap Beberapa Material Elektroda pada Proses EDM *Die Sinking*.
- Eko Yudo¹, Husman² JURNAL MANUTECH Vol.10, No.2, (Desember 2018). ANALISA KEAUSAN ELEKTRODA ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING MENGGUNAKAN METODA RESPONSE SURFACE METHODOLOGY
- Petrus Londa. Vol. 16, No. 4, (Oktober 2014): Pengaruh Variabel Pemotongan Terhadap Keausan Elektroda Dan Benda Kerja Pada Proses EDM <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/rotasi>
- Triastuti Wuryandari¹, Tatik Widiharih², Sayekti Dewi Anggraini³. Vol. 2, No. 2, (Desember 2009). METODE TAGUCHI UNTUK OPTIMALISASI PRODUK PADA RANCANGAN FAKTORIAL