

## LAJU PELEPASAN MATERIAL, KEAUSAN ELEKTRODA, DAN *OVERCUT* BAJA AISI 422 PADA PROSES EDM SINKING

Syhabuddin<sup>1</sup>, Imam Sofi'i<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Studi Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

Kata kunci:

Electrical Discharge Machining, On time, off time, Electrode Wear Rate, Material Removal Rate, sinking Rate overcut

Email penulis:

sofi21imam@gmail.com

**Abstract**

EDM (*Electrical Discharge Machining*) merupakan proses pengikisan logam *Machining*, *Pulse current*, dengan cara penciptaan ribuan percikan listrik per detik yang mengalir antara elektroda dan benda kerja dalam cairan dielektrik. Kecepatan pelepasan material pada proses EDM sangat penting untuk mengurangi waktu proses pengerjaan dan keausan elektroda. Tetapi yang terjadi pada penggunaan mesin EDM sering kali operator mesin hanya mengandalkan pengalaman dan berdasarkan, buku manual dalam mengatur parameter mesin, sehingga hasil produksi tidak sesuai dengan yang diharapkan khususnya kepresisian dan efisiensi. Pada penelitian ini material yang digunakan adalah baja AISI 422 dan elektroda tembaga. Material AISI 422 merupakan jenis material *mould* tahan karat yang sering digunakan untuk jenis material plastik seperti PVC. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaturan variabel *current pluse*, *on time* dan *gap voltage* terhadap laju pelepasan material (*material removal rate*), laju keausan elektroda tembaga (*electrode wear rate*), dan *overcut* pada benda kerja. Parameter yang digunakan dalam penelitian yaitu *Pulse Current* (LA): 4A, 7A, 10A, *On Time* (PON): 50 us, 75 us, 100 us, *Gap Voltage* (GAP): 4 V, 8 V, 12 V. Alat – alat yang digunakan untuk pengujian penelitian ini antara lain, timbangan digital kapasitas 20 gr akurasi 0,001 gr, kapasitas 200 gr akurasi 0,01 gr, dan jangka sorong digital Mitutoyo 200 mm akurasi 0,01 mm. Pada penelitian ini menggunakan metode *Taguchi S/N Ratio Larger the Better (LTB)*, *Smaller the Better (STB)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju pelepasan material dipengaruhi oleh parameter *current pluse* (LA) dan *on time* (PON). Ini dikarenakan parameter *current pluse* dan *on time* berbanding lurus dengan laju pelepasan material, dimana semakin besar *current pluse* maka, laju pelepasan material semakin tinggi. Laju keausan elektroda untuk penambahan *current pluse* berpengaruh signifikan dikarenakan *current pluse* dan *on time* berbanding lurus dengan laju keausan elektroda. Berdasarkan hasil analisis laju pelepasan material maksimum terjadi pada parameter LA 10A level 3, PON 100 $\mu$ s level 3, GAP 4V level 1. Untuk laju keausan elektroda paling minimum terjadi pada parameter LA 4A level 1, PON 100 $\mu$ s level 3, dan GAP 4V level 1. Untuk *overcut* minimum terjadi pada parameter LA 7A level 2, PON 50 $\mu$ s level 1, dan GAP 6V level 1.

### 1. Pendahuluan

Dewasa ini, plastik merupakan salah satu barang yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia karena plastik yang sifatnya mudah dibentuk, praktis, ringan, dan tidak berkarat. Hampir disegala sektor kehidupan manusia dapat dijumpai berbagai jenis barang yang terbuat dari plastik, misal botol minuman, alat – alat rumah tangga, alat elektronik, bahkan komponen otomotif, dan lain - lain. Salah satu proses manufaktur yang untuk membuat produk dengan material berbahan plastik adalah dengan proses *injection moulding*. Proses ini sangatlah kompleks karena melibatkan proses mekanik dan termal dimana setiap proses berpengaruh terhadap produk hasil injek.

*Mold* terdiri dari beberapa bagian, setiap bagian memakai jenis material yang berbeda sesuai dengan fungsinya sendiri - sendiri. Untuk menghasilkan produk yang tahan lama maka dibutuhkan material yang memiliki kekerasan yang tinggi salah satunya adalah AISI 422. Material ini sering di gunakan untuk pembuatan cetakan *mould* yang tahan terhadap korosif salah satunya berbahan plastik PVC. Karena digunakan untuk proses membentuk suatu produk, maka pembuatan *mould* dituntut memiliki kepresisian yang tinggi serta sifat mekanik yang bagus tanpa adanya cacat, sehingga pada penggunaannya akan memiliki *life time* yang panjang dan dapat menghasilkan produk sesuai rencana.

Dalam proses manufaktur pembuatan *mould* ada beberapa jenis proses permesian yaitu proses desain, CNC, EDM, milling, bubut, poles, dan *setting*. Pada proses tersebut memiliki fungsi yang berbeda-beda salah satunya pada proses EDM yang harus ada dalam pembuatan *mould*. Hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan proses *milling* oleh *machining center*. Sehingga untuk radius kecil dan pemotongan yang dalam diperlukan proses lanjutan seperti *EDM Sinking*. Proses *material removal* pada *EDM Sinking* sangatlah lambat jika dibandingkan dengan proses *milling*, sehingga sedapat mungkin kecepatan proses ditingkatkan dengan tanpa mengurangi kualitas permukaan dan dimensi akhir benda kerja. Ketelitian dimensi benda kerja sangat erat kaitannya dengan keausan yang terjadi pada elektroda *EDM Sinking*, (Wahyudi, 2017).

Pada proses permesinan EDM Shinking laju pelepasan material sangatlah penting untuk mengurangi waktu pengerjaan atau efisiensi waktu proses. Untuk meningkatkan laju pelepasan material, meminimalkan laju keausan elektroda, overcut pemakanan, dan tingkat kekasaran permukaan benda kerja ada banyak parameter - parameter yang mempengaruhi dalam proses EDM shinking, seperti: kuat arus, *on time*, tegangan, polaritas elektroda, *off time*, cairan dielektrik, dan ukuran elektroda, (Wahyudi, 2017).

Metode *Taguchi* digunakan untuk menentukan pengaruh signifikan beserta kondisi operasi optimal dari pengoperasian mesin EDM yang digunakan untuk menentukan parameter pemesinan yang optimal untuk proses pelepasan material maksimum dan elektroda rasio minimum dalam operasi mesin EDM dan juga untuk mengetahui hubungan signifikan dari variable pemesinan di mesin EDM dengan kualitas permukaan hasil pemesinan. Diharapkan dengan metode ini operator mesin tidak lagi melakukan proses *try and error*.

Banyak penelitian yang telah dilakukan mengenai variabel yang berpengaruh pada proses EDM dan perbaikan karakteristik prosesnya. Mokhammad sis wahyudi (2017) melakukan penelitian tentang laju pelepasan material pada baja AISI P 20 Modifoed dan laju pelepasan elektroda tembaga pada proses EDM shinking (Wahyudi, 2017). Petrus londa (2014) melakukan penelitian untuk mengetahui keausan pada elektroda atau *Electrode Wear Rate* (EWR) dan keausan pada benda kerja atau *Material Removal Rate* (MRR) pada material baja perkakas K460 (amutit S) (Londa, 2014). Galang sandy prayogo (2016) melakukan penelitian tentang optimasi multirespon pada proses EDM sinking baja ST 42 dengan menggunakan metode *thaguci* dan *fuzzy logic* (Prayogo, 2016). Merujuk pada penelitian – penelitian diatas maka, penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang belum pernah di teliti dan di bahas sebelumnya yaitu tentang “Laju Pelepasan Material, Keausan Elektroda, Dan *Overcut* Baja AISI 422 pada Proses EDM Shinking”.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi parameter *on time*, gap, arus listrik pada proses permesinan EDM terhadap laju pelepasan material pada material baja AISI 422, laju keausan pada elektroda tembaga, dan *overcut* benda kerja. Dari penelitian ini nantinya dapat di ketahui pengaturan parameter yang tepat untuk proses EDM.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini di laksanakan di PT. Qmould Teknologi Indonesia yang beralamat di jalan Pekapuran No. 60 Raya Bogor Km. 32,5 Cimanggis, Depok.

## 2.2 Alat Dan Bahan Penelitian

Bahan yang diperlukan dalam proses penelitian antara lain:

1. Benda kerja AISI 422 (DIN 2316) dengan kekerasan (255 – 305 HB) massa jenis ditetapkan  $7.8\text{gr/cm}^3$ , atau  $0.0078\text{ gr/mm}^3$ , dengan komposisi kimia dapat dilihat pada Tabel 1 dan geometri benda kerja panjang 54 mm lebar 16 mm, tinggi 9,5 mm. Bentuk yang nantinya akan dibentuk dan ukuran yang di hasilkan tidak tembus dengan diameter 7 mm kedalaman 4 mm dari pertama kali elektroda menyentuh benda kerja.

Table 1: Komposisi kimia untuk baja AISI 422

Chemical Composition (%)											HB Hardness Brinell
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Al	
0,362	0,486	0,827	0,025	0,003	14,542	0,470	0,150	1,050	0,015	0,041	255 - 305



Gambar 1: Benda kerja AISI 422

2. Elektroda dari bahan tembaga diameter 7 mm dengan massa jenis  $8.9\text{ g/cm}^3$ , titik leleh  $1083^\circ\text{C}$ , konduktivitas panas  $0.016700167\ \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  dan komposisi kimia seperti yang di perlihatkan dalam Tabel 2 dan gambar ditunjukkan pada gambar 3.

Tabel 2: Komposisi Kimia Tembaga

Komposisi kimia( % )										
Sn	Zn	Pb	Fe	Ni	Al	P	Si	Mn	Sb	Cu
0.055	0.023	0.009	0.024	0.008	0.049	0.002	0.004	0.001	0.006	99.820



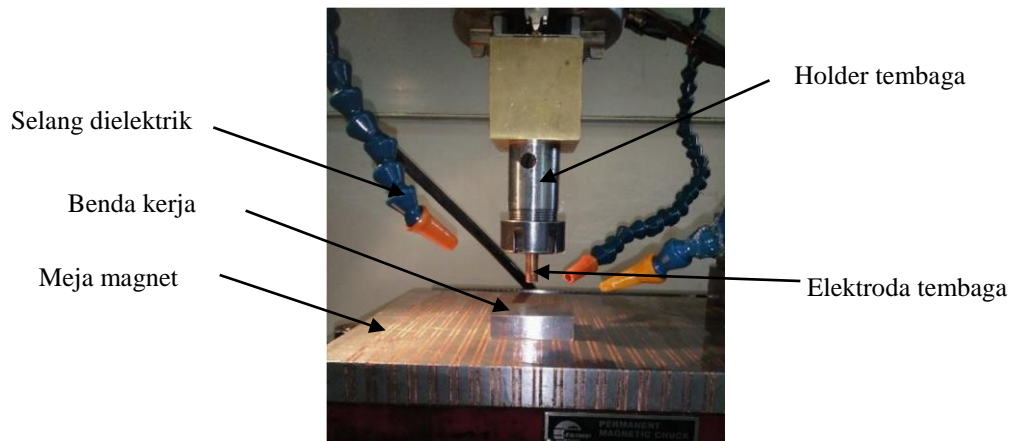
Gambar 2: Elektroda Tembaga

3. Cairan dielektrik menggunakan *fuchs ecocut 38 ID*. Spesifikasinya lihat pada Tabel 3.

Tabel 3: *Typical Charecteristic Ecocut 38 ID*

<i>Ecocut EDM Fluid Series</i>	<i>Method</i>	<i>Unit</i>	<i>Ecocut 38 ID</i>
<i>Kinematic Viscosity @ 40°C</i>	ASTM D 445	cSt	2,50
<i>Color</i>	ASTM D 1500	-	0,0
<i>Density @ 150 C</i>	ASTM D 1298	g/ml	0,7730
<i>Flash Point (COC)</i>	ASTM D 92	°C	120
<i>Appearance</i>	Visual	-	<i>Clear</i>

4. Timbangan digital kapasitas 20 gr ketelitian 0,001 gr ( elektroda ), kapasitas 200 gr ketelitian 0,01 gram ( benda kerja ), dan jangka sorong digital Mitutoyo ukuran 200 mm ketelitian 0,01 mm.



Gambar 3: Proses EDM

Rencana langkah - langkah penelitian yang akan di lakukan adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan benda kerja ( baja AISI 422) dan elektroda (tembaga).
2. Mengukur massa awal benda sebelum penelitian menggunakan neraca digital.
3. Memasang elektroda pada *holder* mesin EDM dan dikencangkan.
4. Memasang benda kerja pada meja dan dikencangkan dengan magnet.
5. Menentukan titik nol benda kerja terhadap permukaan *electrode*.
6. Mengatur parameter mesin EDM sesuai dengan tabel rancangan percobaan.
7. Menyalakan pompa cairan *dielektrik* ( *fuchs ecocut 38 T*).
8. Memulai pengerjaan dengan menekan tombol *start* sampai kedalaman pemakanan 5 mm. Jika selesai mesin otomatis berhenti dan alarm berbunyi.
9. Mematikan alarm, mengangkat *electrode*, dan mengeluarkan benda kerja.
10. Membersihkan benda kerja dari kotoran dan mengeringkannya.
11. Percobaan diulang dengan memvariasikan *low voltage current, on time dan gap* mesin EDM.
12. Setelah semua proses permesinan selesai maka material siap untuk dilakukan penimbangan berat untuk menentukan berapa gram material yang terbuang.
13. Setelah percobaan dan pengukuran, data percobaan diplotkan kedalam grafik agar di ketahui pengaruh serta kecendrungan parameter terhadap respon.

### 2.3 Perhitungan Laju pelepasan material

Laju pelepasan material atau *Material Removal Rate* (MRR) waktu potong dimulai pada saat pertama kali elektoda menyentuh benda kerja. Massa yang terbuang akibat pemotongan oleh mesin EDM didapat dengan mencari selisih massa spesimen uji sebelum pemakanan dengan massa setelah pemakanan. Massa yang terbuang dibagi dengan massa jenis spesimen uji didapat volume spesimen uji yang terbuang. MRR didapat dengan membagi volume spesimen uji yang terbuang dengan waktu potong [Wahyudi, 2017].

$$MRR = \frac{\text{Volume (mm}^3\text{)}}{\text{Waktu (min)}} \quad (1)$$

Dengan:           Volume= panjang x lebar x tinggi (mm<sup>3</sup>)  
                       Waktu = Waktu proses EDM (min)

Untuk mengetahui Laju Keausan Elektroda atau *Electrode Wear Rate*, maka penelitian dilakukan dengan mengukur massa elektroda yang hilang selama proses, yang merupakan selisih massa sebelum dan setelah digunakan. Massa yang terbuang dibagi dengan massa jenis spesimen uji didapat volume spesimen uji yang terbuang. Perhitungan dilakukan dengan rumus berikut (Wahyudi, 2017):

$$EWR = \frac{\Delta M}{t} = \frac{M_1 - M_2}{t} \quad (2)$$

Keterangan: M1 = Massa elektroda sebelum proses (gr)  
M2 = Massa elektroda setelah proses (gr)  
M = Massa elektroda yang hilang selama proses (gr)  
T = Waktu selama proses EDM (min)

Untuk mengetahui *Overcut* (Oc) dan ketirusan, maka perhitungan dilakukan dengan rumus berikut:

$$Oc = d_2 - d_1/2 \quad (3)$$

Dimana:  $d_1$  = Diameter luar dari pahat (Elektroda)  $d_1$  = Diameter maksimum dari tapering yang terjadi

Pada penelitian ini menggunakan metode *taguchi* karena metode *taguchi* merupakan metode perancangan yang berprinsip pada perbaikan mutu dengan memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan penyebabnya dengan multi parameter mesin (Sukma, 2016). Dalam penelitian variabel proses EDM sebagai berikut: 1. Variabel yang ditetapkan

Proses EDM untuk sistem saluran pembawa partikel kotoran (gram) dari hasil pemotongan adalah dengan penyemprotan dielektrik, polaritas (+) pada elektroda, polaritas (-) pada benda kerja, sensitivitas selama proses pemesinan (SERVO = 100%), waktu jeda ( T Off = 100  $\mu$ s ), waktu tunggu ( WT = 0,5s ), *jumping time* ( JT = 0,6 mm ), *Step Jumping* STD JP ( +8x J6 ), kecepatan gerak spindel mesin (SPD 100%), langkah bebas elektroda terhadap benda kerja setiap siklus (QUP = 2 mm).

## 2. Variabel bebas (*input variable*)

Variabel bebas terdiri dari intensitas loncatan bunga api listrik atau *Pulse-on time* (PON), *pulse current* (LV) dan *gap voltage* (GAP). Nilai masing - masing variabel tersebut di bagi menjadi tiga level, seperti yang diperlihatkan pada tabel 4.

Tabel 4 : Nilai setiap level untuk *input* variabel

No	Variabel	Level 1	Level 2	Level 3
1	LV ( A )	4	7	10
2	PON ( $\mu$ s )	50	75	100
3	GAP ( volt )	4	8	12

## 3. Respon variabel

Variabel yang di teliti (*output variable*) yaitu *Material Removal Rate* (MRR), *Electrode Wire Rate* (EWR), dan *overcut* ketirusan.

Skema dalam penelitian ini berdasarkan metode Taguci  $L_9$  *orthogonal array* (10) dapat dilihat pada tabel 5 yang terdiri dari 3 kolom variabel eksperimen dan 9 baris menunjukkan nomor eksperimen, pada penelitian ini jumlah eksperimen setiap baris dilakukan sebanyak 2 kali , hal ini untuk mengatasi kesalahan dalam melakukan eksperimen. Nilai yang berada dalam pada setiap

matrik dalam tabel 5 menunjukkan level dari setiap variabel pemesian EDM. Penulis menggunakan *software* minitab 18.

Table 5: Skema eksperimen *orthogonal array* L9 (3<sup>3</sup>)

No. Eksperimen	Variabel Pemesian		
	Level Ampere (LA)	Pulse On Time (PON)	Gap Voltage (GAP)
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	3

Pada penelitian ini menggunakan tahapan – tahapan prosedur antara lain, mengukur berat sebelum melakukan pengujian dari masing – masing benda kerja dan elektroda dengan menggunakan timbangan, melakukan proses pengujian pada mesin EDM dengan masing – masing variabel yang sudah ditetapkan, mengukur masing – masing benda kerja dan elektroda setelah proses uji menggunakan timbangan, mengukur *overcut* menggunakan jangka sorong, menghitung semua hasil dari pengukuran menggunakan persamaan taguci untuk mengetahui efek dari tiga variabel input pada proses EDM ( LA, PON, GAP) terhadap variabel output yaitu MRR, EWR, dan *overcut* ketirusan. Untuk menghitung S/N ratio dapat menggunakan rumus dibawah ini :

- a. *Larger the Better (LTB)*, untuk mencari kecepatan penghasil geram (MRR) yang paling besar, yang berarti semakin besar MRR maka semakin produktif proses produksi tersebut. Rumus yang digunakan adalah:

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

- b. *Smaller the Better (STB)*, untuk mengoptimasi suatu cacat pada produk. Dapat juga menentukan waktu produksi tercepat. Untuk menghitungnya menggunakan rumus:

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

Table 6: Mencari SN Ratio dari masing – masing level percobaan

Percobaan	LA (A)	PON (μs)	GAP (v)	MRR (mm <sup>3</sup> /min)	EWR (gr/min)	Overcut (mm/side)	S/N MRR	S/N EWR	S/N Overcut
1	4	50	4	1,6336	0,00018	0,120	4,263	74,953	18,416
2	4	75	8	1,6406	0,00017	0,145	4,300	75,199	16,773
3	4	100	12	1,4839	0,00012	0,210	3,428	78,168	13,556
4	7	50	8	3,6065	0,00048	0,155	11,142	66,317	16,193
5	7	75	12	3,8342	0,00037	0,148	11,674	68,583	16,624
6	7	100	4	5,2724	0,00029	0,145	14,440	70,854	16,773
7	10	50	12	5,6982	0,00094	0,150	15,115	60,575	16,478
8	10	75	4	7,9895	0,00073	0,158	18,050	62,713	16,054
9	10	100	8	8,4467	0,00102	0,150	18,534	59,833	16,478

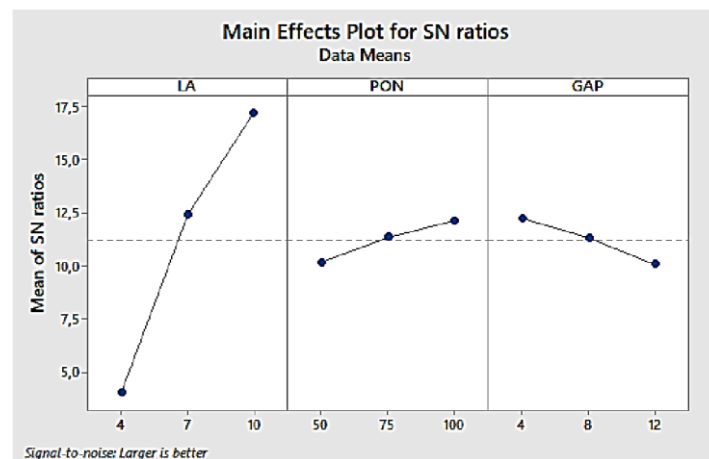
### 3. Hasil Dan Pembahasan

Dengan menggunakan rumus S/N ratio *Larger the Better* (4) dan S/N ratio *Smaller the Better* (5) dari hasil rata – rata MRR, EWR, dan *Overcut* hasil pengukuran. Data dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 7: Tabel Respon for *Signal to Noise Ratios* MRR versus LA; PON; GAP

Level	LA (A)	PON ( $\mu$ s)	GAP (v)
1	3,997	10,173	<b>12,251</b>
2	12,418	11,341	11,325
3	<b>17,233</b>	<b>12,134</b>	10,072
Delta	13,236	1,961	2,179
Rank	1	3	2

Grafik untuk nilai rata – rata MRR pada masing – masing level dari variabel proses yaitu LA, PON, dan GAP. Pada gambar 3 dapat dilihat S/N ratio MRR yang paling cepat untuk proses pengerjaannya di tunjukkan pada parameter potong LA 10(A) pada level 3, PON 100( $\mu$ s) level 3, dan GAP 4(v) pada level 1.

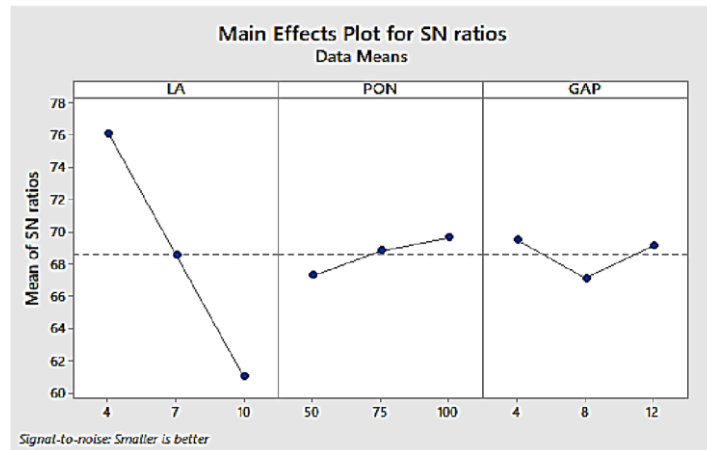


Gambar 4: Grafik respon untuk *Signal to Noise Ratios* MRR versus LA; PON; GAP

Tabel 8: Tabel Respon untuk *Signal to Noise Ratios* EWR versus LA; PON; GAP

Level	LA (A)	PON ( $\mu$ s)	GAP (v)
1	<b>76,11</b>	67,28	<b>69,51</b>
2	68,58	68,83	67,12
3	61,04	<b>69,62</b>	69,11
Delta	15,07	2,34	2,39
Rank	1	3	2

Grafik untuk nilai rata – rata EWR pada masing – masing level dari variabel proses yaitu LA, PON, dan GAP. Pada gambar 4 dapat dilihat S/N ratio EWR yang paling lambat aus untuk proses EDM di tunjukkan pada parameter potong LA 4 (A) pada level 1, PON 100 ( $\mu$ s) level 3, dan GAP 4(v) pada level 1.

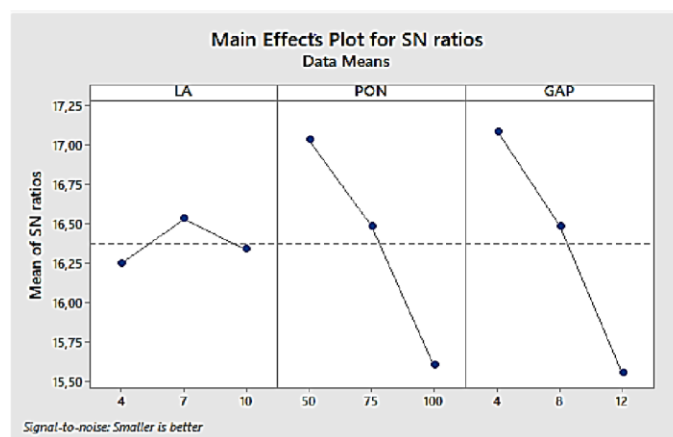


Gambar 5: Grafik respon untuk *Signal to Noise Ratios* EWR versus LA; PON; GAP

Tabel 9: Tabel Respon untuk *Signal to Noise Ratios Overcut* versus LA; PON; GAP

Level	LA (A)	PON ( $\mu$ s)	GAP (v)
1	16,25	<b>17,03</b>	<b>17,08</b>
2	<b>16,53</b>	16,48	16,48
3	16,34	15,6	15,55
Delta	0,28	1,43	1,53
Rank	3	2	1

Grafik untuk nilai rata – rata *Overcut* pada masing – masing level dari variabel proses yaitu LA, PON, dan GAP. Pada gambar 5 dapat dilihat S/N ratio *Overcut* yang paling kecil penyimpangannya untuk proses pengerjaannya di tunjukkan pada parameter potong LA 7(A) pada level 2, PON 50 ( $\mu$ s) level 1, dan GAP 4(v) pada level 1.



Gambar 6 : Grafik respon untuk *Signal to Noise Ratios Overcut* versus LA; PON; GAP

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan di lakukan pengujian menggunakan metode taguchi dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Laju MRR yang paling cepat untuk proses pengerjaannya di tunjukkan pada parameter potong



- LA 10(A) pada level 3, PON 100( $\mu$ s) level 3, dan GAP 4(v) pada level 1. Berdasarkan grafik parameter LA dan PON berbanding lurus untuk mendapatkan MRR yang maksimal. Grafik dapat lihat gambar 3.
2. EWR yang paling lambat aus untuk proses EDM di tunjukkan pada parameter potong LA 4 (A) pada level 1, PON 100 ( $\mu$ s) level 3, dan GAP 4(v) pada level 1. lihat gambar 4.
  3. *Overcut* yang paling kecil penyimpangannya untuk proses pengerjaannya di tunjukkan pada parameter potong LA 7(A) pada level 2, PON 50 ( $\mu$ s) level 1, dan GAP 4(v) pada level 1, lihat gambar 5.

#### Daftar Pustaka

- Anggadipita, Yoga Aldia, (2012), “Pengaruh Arus Dan On Time Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Permukaan Pada Proses Electrical Discharger Machining Die Sinking”, Skripsi tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Jember.
- CHAMER.”*Operation Manual*”. © CHING HUNG MACHINERY & ELECTRIC INDUSTRIAL.CO.,LTD
- Guitrau, E. Bud. ”*The EDM Handbook*”. Cincinnati. Hanser Gardner Publication. 1997.
- Laksana, Andika Satria.( 2016) “Makalah *electrical discharge machines* (EDM), Skripsi tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Jember.
- Londa, Langgono Adi Petrus, ( 2014) ”Pengaruh Variabel Pemotongan Terhadap Keausan Elektroda dan Benda Kerja pada Mesin EDM”,Jurusan Teknik Mesin Politeknik Bandung, Jurnal Teknik Mesin Vol 16,No.4:9-16.
- Prayogo, Galang Sandy, (2016), ” Optimasi Multirespon Pada Proses EDM Sinking Baja ST 42 Dengan Menggunakan Metode Taguchi Dan Fuzzy Logic”. Teknik Mesin Politeknik Negri Banyuwangi, Jurnal Rotor, Volume 9 Nomor 2.
- POCOGRAPHITE.”*EDM Technical Manual*”. Decatur Texas.Poco Graphite,inc.©1994 – 2014.
- Sagedistira,I Fata, (2012), Studi. Pengaruh Variasi Arus Proses Permesinan EDM Sinking terhadap kekerasan dan karakteristik struktur mikro material baja SKD 11, Skripsi tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Jember.
- Sukma, Hegar Dwi Jaya. (2016), “Optimasi laju pembuangan material AISI 1045 pada bubut CNC dengan metode Taguchi”, Skripsi tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Jember.
- Wahyudi, Sis Mokhammad.(2017), “Analisis Laju Pelepasan Material Pada P 20 Modified Dan Laju Keausan Elektroda Tembaga Pada Proses EDM shinking”, Skripsi tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Pancasila Jakarta.