

## OPTIMASI MULTIRESPON PROSES PEMESINAN WIRE-EDM PADA BAJA PERKAHAS HSS MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

Oleh:

Bachtiar<sup>1</sup>, Usman Dinata<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Dosen Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya ITS;

e-mail: bachtiar70@gmail.com

**Abstrak:** Pada proses Wire-EDM, pemotongan benda kerja dilakukan dengan memanfaatkan energi termal. Lapisan recast adalah lapisan putih pada permukaan benda kerja yang terbentuk akibat pengaruh panas yang ditimbulkan oleh loncatan bunga api listrik dan pembekuan kembali dari sebagian material yang meleleh pada proses pemessinan Wire-EDM. Lapisan ini bersifat getas dan memiliki nilai kekerasan yang berbeda dari logam induk. Tebal lapisan recast dapat diminimalkan dengan proses skim cut. Proses tersebut membutuhkan waktu pengerjaan yang lebih lama, sehingga laju pengerjaan bahan menjadi kecil. Oleh karena itu, perlu ditentukan pengaturan variabel proses yang tepat agar diperoleh benda kerja dengan lapisan recast yang tipis dan waktu pengerjaan yang singkat. Penelitian dilakukan pada baja HSS dengan menggunakan elektroda kuningan. Mesin wire-EDM yang digunakan adalah CHMER CW32F. Rancangan percobaan matriks ortogonal  $L_8(2^7)$  memvariasikan faktor *on time*, *open voltage*, *off time* dan *servo voltage*. Masing-masing faktor diteliti dalam dua level dengan replikasi sebanyak 3 kali. Optimasi dilakukan dengan menggunakan metode Taguchi yang memanfaatkan prinsip *total loss function* dan faktor pembobotan untuk meminimumkan tebal lapisan *recast* dan memaksimalkan laju pengerjaan bahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *on time*, *open voltage*, dan *servo voltage* adalah faktor-faktor yang mempunyai kontribusi paling besar dalam mengurangi variasi dari respon yang diamati. Dari hasil optimasi yang telah divalidasi dalam eksperimen konfirmasi, kombinasi faktor pada wire-EDM yang dapat meminimumkan tebal lapisan *recast* dan memaksimalkan laju pengerjaan bahan adalah *on time* yang diseting pada nilai 0.4  $\mu$ s, *open voltage* yang diseting pada nilai 6 V, dan *servo voltage* yang diseting pada nilai 44 V.

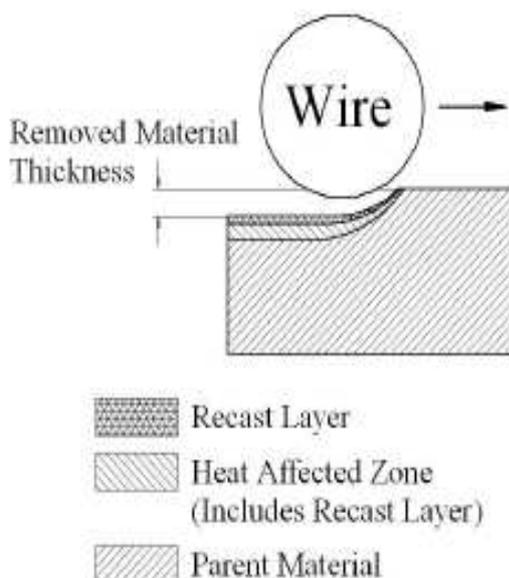
**Kata Kunci:** wire-EDM, Taguchi, *loss function*, lapisan *recast*

Pada beberapa proses pemessinan, dibutuhkan suatu bentuk pahat khusus yang harus dibuat sendiri karena tidak tersedia di pasaran. Wire-EDM sering digunakan dalam pembuatan pahat potong yang berbentuk khusus ini. Namun dalam proses pemotongan dengan menggunakan Wire-EDM, pada permukaan benda kerja akan selalu terbentuk lapisan *recast* yang mempunyai sifat mekanis yang berbeda dengan bahan pahat aslinya (tidak homogen), sehingga spesifikasi sifat

mekanis benda kerja yang telah ditentukan tidak dapat terpenuhi. Sifat mekanis (kekerasan) yang tidak homogen ini tentunya tidak diinginkan terutama dalam pembuatan pahat potong karena akan menyebabkan hasil yang kurang maksimal ketika pahat digunakan dalam proses pemessinan.

*Heat affected zone* adalah lapisan dari material induk yang terpengaruh oleh panas selama proses pemessinan berlangsung. Skema material yang

terpengaruh panas pada proses *Wire-EDM* ditunjukkan pada Gambar 1. Lapisan *recast* adalah bagian benda kerja (material induk) yang ikut meleleh kemudian membeku kembali dan membentuk lapisan pada permukaan benda kerja. Lapisan *recast* terbentuk akibat pengaruh dari panas yang ditimbulkan oleh loncatan bunga api dari kawat. Material yang telah diproses menggunakan *Wire-EDM* memiliki nilai kekerasan yang tidak lagi sama (Pandev, 1980). Selain kekerasannya yang tidak sama dengan kekerasan benda kerja, lapisan *recast* juga bersifat sangat getas. Pada proses pembuatan pahat sifat getas yang dimiliki oleh lapisan *recast* tentu menjadi hal yang harus dihindari karena dapat membuat pahat cepat aus dan rusak, bahkan dapat menimbulkan *crack*. Dalam proses *Wire-EDM*, lapisan *recast* merupakan suatu efek samping yang tidak bisa dihindari, sehingga yang dapat dilakukan adalah membuat lapisan *recast* menjadi sangat tipis dalam setiap proses produksi.



**Gambar 1.** Skema material yang terpengaruh panas pada proses *Wire-EDM*

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi tebal lapisan *recast* adalah dengan menggunakan proses *skim cut*, namun proses ini harus dilakukan berulang-ulang dan membutuhkan waktu tambahan sehingga laju pengerjaan bahan semakin kecil. Cara yang lebih sederhana untuk mendapatkan lapisan *recast* yang lebih tipis dapat dilakukan dengan melakukan pengaturan parameter pemotongan pada *Wire-EDM* yang tepat. Ketebalan dari lapisan *heat affected zone* sangat tergantung pada voltage dan setting *on time* (Stephenson, 2007). Pada artikel yang dipublikasikan oleh Uddeholm Tooling, dinyatakan bahwa kedalaman dari lapisan *heat affected zone* sangat tergantung pada durasi pulsa dan kuat arus (Uddeholm Tooling, 2007). Kedalaman *heat affected zone* dan lapisan *recast* juga tergantung pada *power*, jenis *power supply* dan jumlah *skim cut* (Sommer dan Sommer, 2005). Penggunaan *discharge current* dan *lower pulse-on* yang rendah dapat mengurangi tebal lapisan *HAZ* (Boujelbene et al, 2009). Kekasaran permukaan hasil proses pemesinan menggunakan *spark erosion* untuk pemotongan kasar (*roughing*) maksimal sebesar  $1.6 \mu\text{m}$  (Rochim, 2001).

Setiap proses produksi menginginkan waktu yang singkat dalam setiap proses pengerjaan. Selain untuk mendapat lapisan *recast* yang lebih tipis, waktu pengerjaan yang singkat hendaknya juga dipertimbangkan dalam melakukan pengaturan parameter pemotongan pada *Wire-EDM*. Ada beberapa hal yang dapat mempersingkat waktu pengerjaan, diantaranya adalah penggunaan diameter kawat yang lebih besar, *power* lebih besar, *flushing* yang baik (Guitrau, 1997). Parameter *on time* dan *off time* mempunyai

pengaruh yang signifikan terhadap respon waktu pengerjaan (Himawan, 2008). Parameter lain yang sangat berpengaruh terhadap waktu pengerjaan adalah besar kuat arus, *on-time*, dan kondisi *flushing* (Stephenson, 2007).

Adapun tujuan penelitian ini berdasarkan rumusan masalah di atas adalah sebagai berikut:

Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui besar kontribusi dari faktor-faktor seperti: *on time*, *open voltage*, *off time* dan *servo voltage* dalam mengurangi variasi dari respon laju pengerjaan bahan dan tebal lapisan *recast* serta kekasaran permukaan. Pada penelitian ini juga dilakukan optimasi multi respon dengan menggunakan metode Taguchi dengan pembobotan untuk memperoleh seting faktor yang tepat pada proses pemesinan *Wire-EDM* yang menghasilkan laju pengerjaan bahan yang tinggi dan tebal lapisan *recast* yang tipis serta kekasaran permukaan yang kecil secara serentak

## METODE PENELITIAN

### Optimasi Multirespon

Beberapa masalah yang sering ditemui dalam kasus optimasi adalah sebuah proses dengan multikarakteristik performa. Pada proses tersebut, karakteristik kualitas dari masing-masing performa mungkin berbeda dalam perhitungan rasio *signal to noise*. Hal ini mengakibatkan aplikasi dari desain eksperimen Taguchi tidak dapat digunakan secara langsung. Oleh karena itu, perhitungan rasio *signal to noise* dengan menggunakan fungsi logaritmik dari *total loss function* kemudian dikenalkan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.

Hal pertama yang perlu dilakukan adalah menentukan nilai *loss function* yang sesuai dengan karakteristik kualitas dari masing-masing respon. Nilai *loss function* tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan (Nian et al., 199):

1. Untuk karakteristik kualitas “semakin besar semakin baik”

$$L_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{1}{y_{ijk}^2} \quad (1)$$

2. Untuk karakteristik kualitas “semakin kecil semakin baik”

$$L_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 \quad (2)$$

dimana:

$L_{ij}$  = *loss function* dari karakteristik performa ke-i pada eksperimen ke-j.

$n$  = jumlah replikasi.

$y_{ijk}$  = nilai dari karakteristik performa ke-i pada eksperimen ke-j saat replikasi ke-k.

*Loss function* tersebut kemudian dinormalisasi dengan menggunakan persamaan:

$$S_{ij} = \frac{L_{ij}}{\bar{L}_{ij}} \quad (3)$$

dimana:

$S_{ij}$  = *loss function* dari karakteristik performa ke-i pada eksperimen ke-j yang telah dinormalisasi.

$\bar{L}_{ij}$  = rata-rata *loss function* dari karakteristik performa ke-i pada eksperimen ke-j.

Metode pembobotan dapat digunakan untuk menentukan karakteristik performa yang paling penting sesuai dengan urutan prioritas (Nian et al., 1998).

Berdasarkan metode pembobotan, *total loss function* dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$TL_j = \sum_{i=1}^m w_i S_{ij} \quad (4)$$

dimana:

$TL_j$  = *total loss function* pada eksperimen ke-j.

$m$  = jumlah karakteristik performa yang diamati.

$w_i$  = faktor pembobotan untuk karakteristik performa ke-i.

*Total loss function* yang diperoleh kemudian ditransformasikan ke dalam rasio *signal to noise* multirespon dengan menggunakan persamaan (Nian et al., 1998):

$$\eta_j = -10 \log (TL_j) \quad (5)$$

dan rasio S/N prediksi yang didapatkan dengan menggunakan kombinasi faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon pada level optimalnya dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\hat{\eta} = \eta_m + \sum_{i=1}^q (\bar{\eta}_i - \eta_m) \quad (6)$$

dimana:

$q$  = jumlah faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon.

$\hat{\eta}_m$  = rata-rata total rasio S/N multirespon.

### Rancangan Percobaan

Penentuan seting faktor pada mesin *wire-EDM* dilakukan dengan merujuk rekomendasi tabel seting faktor untuk kawat elektroda berdiameter 0,25 mm dan material benda kerja yang terbuat dari baja dengan ketebalan 5 mm dan 10 mm. Metode *flushing* yang digunakan pada eksperimen

ini adalah *open contact machining* dengan jarak antara *upper nozzle* dan *lower nozzle* sebesar 10 mm. Seting faktor kontrol yang digunakan pada eksperimen ini Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ini.

**Tabel 1. Seting faktor kontrol**

Faktor Kontrol		Level 1	Level 2
<i>On time</i> (A)	$\mu s$	0.4	0.8
<i>Open voltage</i> (B)	Volt	6	8
<i>Off time</i> (C)	$\mu s$	12	18
<i>Servo voltage</i> (D)	Volt	38	44

**Tabel 2 Rancangan Percobaan Menggunakan Matrik Ortogonal  $L_8$**

No.	Faktor						
	A	B	C	D	Error	Error	Error
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	1	2	2
3	1	2	1	2	2	1	2
4	1	2	2	1	2	2	1
5	2	1	1	2	2	2	1
6	2	1	2	1	2	1	2
7	2	2	1	1	1	2	2
8	2	2	2	2	1	1	1

Matriks ortogonal yang digunakan memiliki derajat kebebasan yang sama atau lebih besar daripada total derajat kebebasan faktor dan level yang telah ditetapkan. total derajat kebebasan faktor dan level yang digunakan adalah empat. Dengan empat faktor dan dua level tiap faktor, hal ini mengakibatkan derajat kebebasan minimum yang harus dimiliki oleh matriks ortogonal

yang akan digunakan adalah empat. Oleh karena itu, sesuai dengan pilihan yang tersedia, matriks ortogonal  $L_8$  ( $2^7$ ) memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai rancangan percobaan. Rancangan percobaan matriks ortogonal  $L_8$  ditunjukkan oleh Tabel 2:

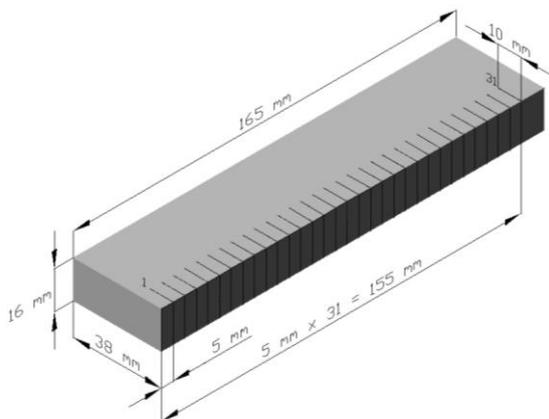
## Bahan Penelitian

### a. Benda kerja

Material yang digunakan adalah baja perkakas HSS Bohler Mo Rapid Extra 1200. Material ini memiliki kekerasan 64,67 HRC dengan dimensi 38 x 16 x 165 mm. Gambar 2 menunjukkan dimensi dan bentuk benda kerja.

### b. Elektroda Kawat

Dalam penelitian ini digunakan elektroda kawat Seiki Denko HSD-25P-5RT berbahan kuningan, dengan diameter 0.25 mm.



Gambar 2. Bentuk benda kerja

## Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan secara garis besar meliputi mesin *Wire-EDM*, peralatan ukur, dan peralatan bantu.

### 1. Mesin *Wire-EDM*

Mesin *wire-EDM* yang digunakan pada penelitian ini adalah CHMER CW32F.

Mesin tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Arah pergerakan	: lima sumbu (x,y,z,u,v)
Diameter kawat	: 0,15–0,30 mm
Kecepatan kawat maksimal	: 250 mm/detik
Dimensi meja kerja	: 600 x 400 mm

### 2. Foto Mikroskop

Pengukuran tebal lapisan *recast* pada penelitian ini menggunakan Foto Mikroskop Olympus BX41-32PO2. Mikroskop ini menggunakan perangkat tambahan agar dapat menampilkan gambar melalui layar komputer dan mengambil fotonya. Perangkat tambahan ini adalah Evolution LC Camera UTVO 5XC-3. Perangkat ini terkoneksi dengan *software* Image Pro Express, sehingga lapisan *recast* pada benda kerja yang telah difoto dapat langsung diukur ketebalannya dengan kecermatan 0.01  $\mu\text{m}$ .

### 3. *Surface roughness tester*

Pengukuran angka kekasaran permukaan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Mitutoyo *surf test* 401.

## Prosedur Percobaan

Percobaan dilakukan dengan mengambil data laju pengerjaan bahan, tebal lapisan *recast* dan kekasaran permukaan pada tiap-tiap kombinasi seting faktor. Laju pengerjaan material (*Material Removal Rate*) dalam proses *Wire-EDM* pada dasarnya merupakan fungsi dari arus listrik yang digunakan dan bahan titik lebur dari benda kerja. Perhitungan MRR dalam proses *Wire-EDM* secara umum dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Mahapatra dan Patnaik, 2007):

$$MRR = V_c \times b \times h \text{ (mm}^3\text{/min)} \quad (7)$$

Dimana:

$V_c$  = kecepatan potong (mm/mim)

$h$  = tinggi benda kerja (mm)

$b$  = lebar pemotongan (mm)

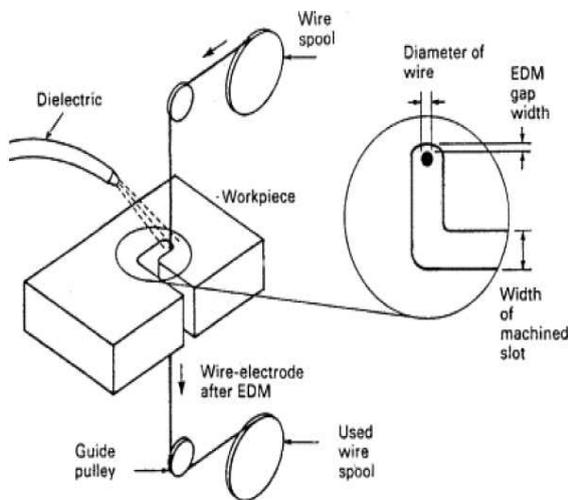
lebar pemotongan ( $b$ ) dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$b = 2W_g + d \quad (8)$$

dimana:

$W_g$  = *spark gap* (mm)

$d$  = diameter kawat (mm)



Gambar 3. Skema proses *wire-Edm*.

Eksperimen dilakukan dengan replikasi (pengulangan) sebanyak tiga kali untuk mengatasi kesulitan dalam menentukan level faktor gangguan (*noise*) yang terjadi selama proses pemotongan dengan proses pemesinan *Wire-EDM* (Vaani and Hameedullah, 2005). Adapun data hasil percobaan seperti ditunjukkan pada tabel 3.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil percobaan yang diambil pada penelitian ini laju pengerjaan bahan, tebal lapisan *recast* dan kekasaran permukaan. Tabel 2 menunjukkan semua data yang diperoleh selama percobaan.

Tabel 3. Data hasil percobaan

Seting faktor, kombinasi ke-	Laju pengerjaan (mm <sup>3</sup> /menit)			Tebal lapisan <i>recast</i> (μm)			Kekasaran Permukaan (μm)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	8.18	7.82	8.94	4.51	4.34	4.07	1.67	1.7	1.6
2	8.93	8.05	7.94	6.22	6.76	6.62	1.53	1.57	1.43
3	8.42	8.83	9.63	9.98	9.79	10.49	1.93	1.97	1.9
4	11.41	11.04	11.16	13.35	13.08	13.67	1.83	1.9	1.67
5	8.89	9.87	8.75	5.83	5.66	5.78	1.83	1.77	1.73
6	13.31	13.22	12.59	7.93	8.58	8.04	2.77	2.93	2.97
7	10.33	10.84	9.92	16.08	14.89	15.71	2.33	2.33	2.47
8	14.82	14.28	14.20	11.71	11.58	11.03	2.17	2.4	2.27

## Perhitungan *Signal to Noise* Multirespon

Dalam percobaan ini, dilakukan pengamatan terhadap 3 variabel respon. Variabel respon pertama adalah laju pengerjaan bahan dengan karakteristik kualitas lebih besar lebih baik (*bigger-is-better*). Variabel respon yang kedua dan ketiga adalah tebal lapisan *recast* dan kekasaran permukaan dengan karakteristik kualitas lebih kecil lebih baik (*smaller-is-better*). Tabel 4 menunjukkan rasio S/N multirespon dengan kombinasi yang berbeda dari faktor pembobotan, yang dihitung dengan menggunakan Persamaan (1)-Persamaan (5). Ada dua skenario yang akan digunakan pada penelitian ini, dengan masing-masing faktor bobot adalah  $w_1 = 0.11; 0.55; 0.33$  untuk skenario pertama;  $w_2 = 0.11; 0.44; 0.44$  untuk skenario kedua.

Desain eksperimen Taguchi yang memanfaatkan bentuk ortogonal memungkinkan adanya pemisahan pengaruh setiap faktor pada level yang berbeda. Sebagai contoh, nilai tengah rasio S/N multirespon dari faktor *on time* pada level satu dihitung dengan mencari nilai rata-rata

rasio S/N multirespon pada eksperimen pertama hingga keempat. Nilai tengah rasio S/N multirespon dari faktor *on time* pada level kedua dihitung dengan mencari nilai rata-rata rasio S/N multirespon pada eksperimen kelima hingga kedelapan.

**Tabel 4. Rasio S/N Multirespon untuk Masing-masing Skenario**

Seting faktor, kombinasi ke-	Skenario 1	Skenario 1
	w = 0.11; 0.55; 0.33	w = 0.11; 0.44; 0.44
1	3.28028	2.85459
2	2.46222	2.40059
3	0.07989	0.18845
4	-1.19631	-0.75490
5	2.56786	2.25189
6	-0.30765	-0.82191
7	-2.70921	-2.36870
8	-0.68520	-0.60674

Hal ini berlaku juga untuk nilai tengah rasio S/N multirespon faktor yang lain. Rata-rata rasio S/N multirespon untuk masing-masing skenario dirangkum pada Tabel 5 dan Tabel 6 berikut ini:

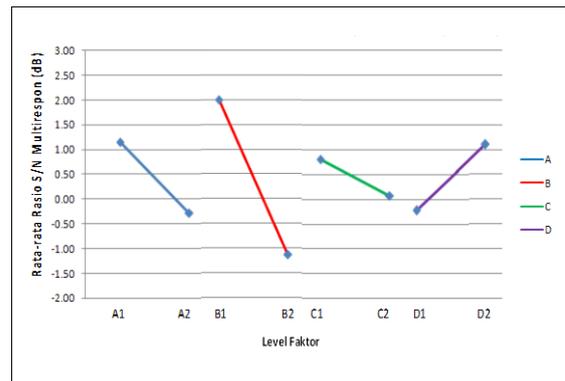
**Tabel 5. Rata-Rata Rasio S/N Multirespon untuk Skenario 1**

Simbol	Faktor	Level 1	Level 2	Selisih
A	<i>On time</i> $\mu$ s	1.15652	-0.28355	1.44007
B	<i>Open voltage</i> Volt	2.00068	-1.12771	3.12838
C	<i>Off time</i> $\mu$ s	0.80470	0.06827	0.73644
D	<i>Servo voltage</i> Volt	-0.23322	1.10619	1.33941
Rata-rata total rasio S/N Multirespon			0.43648	

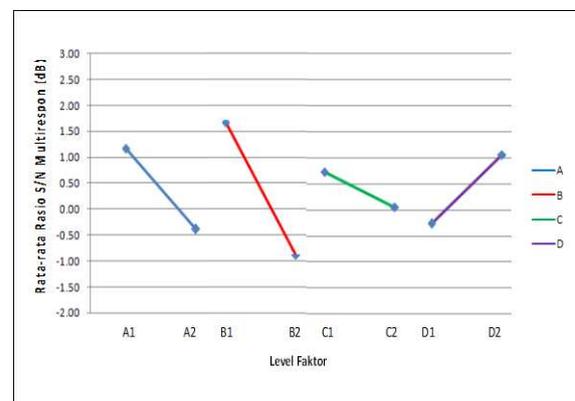
**Tabel 6. Rata-Rata Rasio S/N Multirespon untuk Skenario 2**

Simbol	Faktor	Level 1	Level 2	Selisih
A	<i>On time</i> $\mu$ s	1.17218	-0.38637	1.55855
B	<i>Open voltage</i> Volt	1.67129	-0.88547	2.55676
C	<i>Off time</i> $\mu$ s	0.73156	0.05426	0.67730
D	<i>Servo voltage</i> Volt	-0.27273	1.05855	1.33127
Rata-rata total rasio S/N Multirespon			0.39291	

Nilai rasio S/N multirespon pada masing-masing level faktor yang terdapat pada Tabel 5 hingga Tabel 6 kemudian diplot dalam grafik. Hal ini dilakukan agar rata-rata rasio S/N multirespon masing-masing faktor terlihat lebih jelas.



**Gambar 4. Grafik rata-rata rasio S/N multirespon untuk skenario 1**



**Gambar 5. Grafik rata-rata rasio S/N multirespon untuk skenario 2**

Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan grafik rata-rata rasio S/N multirespon untuk masing-masing skenario. Berdasarkan grafik-grafik di atas, kombinasi faktor yang akan menghasilkan respon optimum untuk masing-masing skenario menurut metode Taguchi dirangkum pada Tabel 7 berikut ini:

**Tabel 7. Kombinasi Faktor Optimum**

Skenario ke-	A	B	C	D
1	Level 1	Level 1	Level 1	Level 2
2	Level 1	Level 1	Level 1	Level 2

### Analisis Variansi

Analisis variansi dilakukan dengan menguraikan seluruh variansi atas bagian-bagian yang diteliti. Pada tahap ini akan dilakukan pengklasifikasian hasil eksperimen secara statistik sesuai dengan sumber variasi sehingga dapat mengidentifikasi pengaruh dan kontribusi masing-masing faktor.

Pada kasus optimasi respon serentak, jumlah kuadrat total (*total sum of square*) dihitung dengan menggunakan persamaan (9), yaitu menjumlahkan kuadrat dari selisih rasio S/N masing-masing urutan eksperimen terhadap rata-rata total rasio S/N. Sedangkan jumlah kuadrat total masing-masing faktor dihitung dengan menjumlahkan kuadrat dari selisih rasio S/N masing-masing level terhadap rata-rata total rasio S/N. Sehingga Tabel ANAVA untuk tiap-tiap skenario ditunjukkan pada Tabel 8 dan Tabel 9.

$$SS_T = \sum_{j=1}^p (\eta_j - \eta_m)^2 \quad (9)$$

Dimana:

$SS_T$  = jumlah kuadrat total.

$\eta_j$  = rasio S/N multirespon masing-masing urutan eksperimen ke-j

$\eta_m$  = rata-rata total rasio S/N multirespon

Persen kontribusi merupakan porsi masing-masing faktor yang signifikan terhadap total variansi yang diamati. Persen kontribusi merupakan fungsi dari jumlah kuadrat dari masing-masing faktor yang signifikan. Persen kontribusi menunjukkan kekuatan relatif dari suatu faktor untuk mereduksi variasi. Pada persen kontribusi dihitung persen kontribusi dari faktor, dan *error*. Persen kontribusi suatu faktor dirumuskan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$\rho = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \quad (10)$$

dimana:

$$SS'_A = SS_A - \nu_A \cdot MS_E \quad (11)$$

**Tabel 8. Hasil Analisis Variansi untuk Skenario 1**

Sumber variasi	db	SS	MS	F	Kontribusi
A	1	4.1476	4.1476	0.53	10.22 %
B	1	19.5735	19.5735	1.77	59.46 %
C	1	1.0847	1.0847	1.43	0.44 %
D	1	3.5881	3.5881	0.47	8.43 %
Error	3	2.8401	0.9467		21.44 %
Total	7	31.3240			

**Tabel 9. Hasil Analisis Variansi untuk Skenario 1**

Sumber variasi	db	SS	MS	F	Kontribusi
A	1	4.8582	0.3326	0.53	15.95 %
B	1	13.0741	1.1094	1.77	48.80 %
C	1	0.9175	0.8973	1.43	0.19 %
D	1	3.5446	0.2941	0.47	10.70 %
Error	3	2.6130	0.8710		24.36 %
Total	7	25.0073			

**Eksperimen konfirmasi**

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk memvalidasi hasil yang diperoleh. Hal ini dilakukan dengan membandingkan rasio S/N multirespon prediksi dengan rasio S/N multirespon yang diperoleh pada eksperimen konfirmasi. Selain itu, eksperimen konfirmasi juga dilakukan dengan membandingkan hasil yang diperoleh dengan menggunakan kombinasi awal dengan kombinasi optimum. Kombinasi awal adalah kombinasi seting faktor yang diambil sesuai dengan *manual book* mesin *wire-edm*, sedangkan kombinasi optimum adalah kombinasi seting faktor yang diperoleh dari hasil optimasi. Kombinasi awal dan kombinasi optimum yang digunakan pada eksperimen konfirmasi ditunjukkan oleh Tabel 10 sebagai berikut:

**Tabel 10 Kombinasi faktor pada eksperimen konfirmasi**

Faktor Kontrol	Kombinasi awal	Kombinasi optimum
<i>On time</i> (A)	Level 2	Level 1
<i>Open voltage</i> (B)	Level 2	Level 1
<i>Off time</i> (C)	Level 2	Level 1
<i>Servo voltage</i> (D)	Level 2	Level 2

Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan replikasi sebanyak tiga kali, secara ringkas, hasil tersebut ditunjukkan oleh Tabel 11.

Rasio S/N multirespon dengan kombinasi yang berbeda dari faktor pembobotan pada masing-masing skenario dihitung dengan menggunakan Persamaan (1)-Persamaan (5), adapun nilai rasio S/N multirespon seperti yang ditunjukkan pada Tabel 12. Rasio S/N prediksi yang didapatkan dengan menggunakan kombinasi faktor-faktor yang berpengaruh secara

signifikan terhadap respon pada level optimalnya dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\hat{\eta} = \eta_m + \sum_{i=1}^q (\bar{\eta}_i - \eta_m) \quad (12)$$

dimana:

q = jumlah faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon.

$\hat{\eta}_m$  = rata-rata total rasio S/N multirespon.

**Tabel 11. Data yang diperoleh dari eksperimen konfirmasi**

Kombinasi faktor	Laju pengerjaan bahan	Tebal lapisan <i>recast</i>	Kekasaran permukaan
	(mm <sup>3</sup> /menit)	( $\mu$ m)	( $\mu$ m)
Kombinasi awal	8.66	8,11	2,07
	12.33	7,49	1,77
	10.23	8,98	1,93
Kombinasi optimum	11.44	5,17	1,37
	10.00	4,69	1,23
	11.19	4,27	1,43

**Tabel 12. Rasio S/N Multirespon pada Eksperimen Konfirmasi**

Skenario ke-	Rasio S/N multirespon (dB)			
	Prediksi	Kombinasi awal	Kombinasi optimum	Peningkatan
1	4.479	2.962	4.102	38.49 %
2	4.234	6.573	7.928	20.61 %

Berdasarkan Tabel 12, dapat diketahui bahwa nilai rasio S/N multirespon yang diperoleh pada eksperimen konfirmasi dengan menggunakan kombinasi optimum menghasilkan nilai rasio S/N yang lebih besar daripada rasio S/N kombinasi awal. Dari tabel tersebut, juga dapat diketahui

bahwa dengan menggunakan kombinasi seting faktor yang dapat menghasilkan respon optimum menurut Taguchi, terjadi peningkatan rasio S/N multirespon sebesar 38.49% pada skenario pertama; 20.61% pada skenario kedua.

## KESIMPULAN

Hasil optimasi menunjukkan bahwa variabel proses atau faktor dalam proses pemesinan *wire-edm* pada baja perkakas HSS Bohler Mo Rapid Extra 1200 yang memiliki kontribusi paling besar dalam mengurangi variasi dari karakteristik kualitas laju pengerjaan bahan, tebal lapisan *recast* dan kekasaran permukaan secara serentak adalah faktor *open voltage*. Besar kontribusi faktor *open voltage* dalam

mengurangi variasi dari karakteristik kualitas laju pengerjaan bahan, tebal lapisan *recast* dan kekasaran permukaan secara serentak pada skenario pertama adalah sebesar 59.49% dan skenario kedua sebesar 48.80%. Untuk dapat menghasilkan respon laju pengerjaan bahan, tebal lapisan *recast* dan kekasaran permukaan yang optimum secara serentak, *on time* diseting pada 0.4  $\mu$ s, *open voltage* diseting pada 6 Volt, *off time* diseting pada 12  $\mu$ s dan *servo voltage* diseting pada 44 volt. Hasil eksperimen konfirmasi dapat diketahui bahwa dengan menggunakan kombinasi seting faktor yang dapat menghasilkan respon optimum menurut Taguchi, terjadi peningkatan rasio S/N multirespon sebesar 38.49% pada skenario pertama; 20.61% pada skenario kedua.

## DAFTAR PUSTAKA

- Boujelbene, M., Bayraktara, E., Tebni, W., & Ben Salem, S., 2009, Influence of machining parameters on the surface integrity in electrical discharge machining, *World Academy of Materials and Manufacturing Engineering Journal*, 37, 110-166.
- Guitrau, E. B., 1997, *The EDM Handbook*, Hanser Gardner Publications, Cincinnati.
- Himawan, A., 2008, Optimasi Waktu Pengerjaan, Cutting Width, dan Kekasaran Permukaan Benda kerja pada *Wire-Electrical Discharge Machining*, Tugas Akhir yang Tidak Dipublikasikan, *Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, Surabaya.
- Mahapatra, S. S. and Patnaik, A., 2007, *Optimization of Wire Electrical Discharge Machining (WEDM) Process Parameters Using Taguchi Method*, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 34, pp. 911-925.
- Nian, C. Y., Yang, W. H., dan Tarng, Y. S., 1998, *Optimization of Turning Operations with Multiple Performance characteristics*, *Journal of Materials Processing Technology*, Elsevier, No. 95, hal. 90-96.
- Pandey, P. C., 1980, *Modern Machining Processes*, Mc Graw-Hill, New Delhi.
- Sommer, C. and Sommer, S., 2005, *Complete EDM Handbook*, Advanced Publishing, Inc, Houston.
- Stephenson, R. C., 2007, *Comparing The Feasibility of Cutting Thin-Walled Sections from Five Commonly Used Metals Utilizing Wire Electric Discharge Machining*, A thesis for the

- degree of Master of Science, Brigham Young University.
- Uddeholm Tooling, *EDM of Tool Steel*, 2007, An article, Uddeholm Tooling.
- Vaani, T. and Hameedullah, M., 2005. *Optimization Control Parameter In Electric Discharge Machining Of Hardened Steel With Copper Electroplated Aluminium Electrode*. Proceeding of the International Conference on Recent Advance in Mechanical & Material Engineering. Malaysia.