

OPTIMASI TEBAL LAPISAN RECAST DAN WAKTU Pengerjaan PADA PROSES PEMESINAN WIRE-EDM

Bachtiar^a, Bobby O. P. Soepangkat^b, Bambang Pramujati^b

^a Mahasiswa S-2 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

^b Lab Proses Manufaktur Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Kampus ITS Keputih – Sukolilo Surabaya 60111

Abstract

The EDM process is widely used for machining hard metals and performing specific tasks that cannot be achieved using conventional techniques. The sparks produced during the EDM process melt the metal's surface, which then undergo ultra rapid quenching. A layer forms on the work piece surface defined as a recast layer after solidification. This layer is brittle and has different hardness number with the parent material. Skim cut process can be applied to minimize recast layer thickness, but the process needs longer machining time. Therefore, it is necessary to be determine the right setting of process variables in order to obtain thin recast layer and short machining time. The relationships between the thickness of recast layer and machining time with process variables ON Time (ON), OFF Time (OFF), Main Power Supply Current (IP), and Main Power Supply Voltage (V), were determined using response surface methodology. The experiment was conducted using Box-Behnken design. To obtain the minimum thickness of recast layer as well as minimum machining time, multiple response optimization were used by applying a desirability function approach. Through this research, the second order polynomial empirical models of recast layer and machining time were obtained.

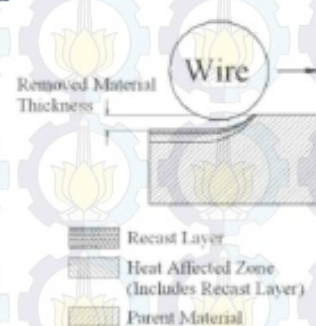
Keywords: optimization, Wire-EDM, recast layer, machining time, response surface, Box-Behnken.

1. PENDAHULUAN

Pada beberapa proses pemesinan, 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 pemesinan.

Heat affected zone adalah lapisan dari material induk yang terpengaruh oleh panas selama proses permesinan 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

[1]. Selain kekerasannya yang tidak sama dengan kekerasan



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

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.

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. 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* [2]. Pada artikel yang dipublikasikan oleh Uddeholm Tooling, dinyatakan bahwa kedalaman dari lapisan *heat affected zone* sangat tergantung pada durasi pulsa dan kuat arus [3]. Kedalaman *heat affected zone* dan lapisan *recast* juga tergantung pada *power*, jenis *power supply* dan jumlah *skim cut* [4]. Penggunaan *discharge current* dan *lower pulse-on* yang rendah dapat mengurangi tebal lapisan *HAZ* [5].

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 [6]. Parameter *on time* dan *off time* mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap respon waktu pengerjaan [7]. Parameter lain yang sangat berpengaruh terhadap waktu pengerjaan adalah besar kuat arus, *on-time*, dan kondisi *flushing* [2].

Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk menentukan model hubungan antara variabel-variabel proses *on time* (ON), *off time* (OFF), *main power supply current* (IP), *main power supply voltage* (V) dengan tebal lapisan *recast* benda kerja hasil pemotongan pada *Wire-EDM* dan waktu pengerjaan. Pada penelitian ini juga dilakukan optimasi multi respon dengan menggunakan metode *response surface* dan pendekatan fungsi *desirability*, untuk memperoleh setting parameter yang tepat pada proses pemesinan *Wire-EDM* yang menghasilkan lapisan *recast* yang tipis dan waktu pengerjaan yang singkat secara serentak.

2. METODE

2.1. Optimasi Respon

Optimasi merupakan usaha didalam penelitian untuk mendapatkan level-level variabel bebas agar mendapatkan respon yang optimal. Optimasi dengan fungsi *desirability*, merupakan salah satu metode yang digunakan untuk optimasi multi-respon [8]. Adapun persamaannya adalah:

$$D = (d_1(y_1)d_2(y_2)...d_p(y_p))^{1/p} \quad (1)$$

dengan:

- D = desirability total
- d_p = fungsi desirability masing-masing
- p = jumlah output yang diinginkan
- y = *transfer function* masing-masing

Metode pendekatan fungsi *desirability* ini memiliki tiga cara untuk menyelesaikan optimasi respon, dan

masing-masing cara hanya cocok untuk kasus tertentu [9], yaitu:

a. Larger is better

Pada kasus ini nilai maksimum dari y_i adalah nilai yang paling diinginkan. $d_i(y_i)$ didefinisikan sebagai berikut:

$$d_i(y_i) = 0 \quad y_i \leq L_i$$

$$d_i(y_i) = \left(\frac{y_i - L_i}{U_i - L_i} \right)^{\omega_i} \quad L_i \leq y_i \leq U_i \quad (2)$$

$$d_i(y_i) = 1 \quad y_i \geq U_i$$

b. Smaller is better

Pada kasus ini nilai minimum dari y_i adalah nilai yang paling diinginkan.

$d_i(y_i)$ didefinisikan sebagai berikut:

$$d_i(y_i) = 1 \quad y_i \leq L_i$$

$$d_i(y_i) = \left(\frac{y_i - L_i}{U_i - L_i} \right)^{\omega_i} \quad L_i \leq y_i \leq U_i \quad (3)$$

$$d_i(y_i) = 0 \quad y_i \geq U_i$$

c. Nominal is the best

Pada kasus ini target dari respon adalah hasil yang paling diinginkan.

$d_i(y_i)$ didefinisikan sebagai berikut:

$$d_i(y_i) = 1 \quad y_i \leq L_i$$

$$d_i(y_i) = \left(\frac{y_i - L_i}{U_i - L_i} \right)^{\omega_i} \quad L_i \leq y_i \leq T_i \quad (4)$$

$$d_i(y_i) = \left(\frac{y_i - L_i}{U_i - L_i} \right)^{\omega_i} \quad T_i \leq y_i \leq U_i$$

$$d_i(y_i) = 0 \quad y_i \geq U_i$$

dengan: L_i = batas bawah y_i
 U_i = batas atas y_i
 T_i = nilai target
 ω_i = bobot relatif

2.2. Rancangan Percobaan

Variabel bebas pada penelitian ini adalah *on time* (ON), *off time* (OFF), *main power supply current* (IP), *main power supply voltage* (V), sedangkan respon yang diamati adalah tebal lapisan *recast* dan waktu pengerjaan. Interval variabel bebas pada penelitian ini sesuai dengan *cutting data* mesin adalah sebagai berikut:

ON Time (ON)	: 6 - 10
OFF Time (OFF)	: 14 - 16
Main Power Supply Current (IP)	
22** (hanya 2 angka di belakang)	: 11 - 15
Main Power Supply Voltage (V)	: 7 - 9

Untuk menentukan level parameter yang dapat menghasilkan nilai respon optimum, dilakukan serangkaian percobaan terhadap parameter utama secara sistematis dengan metode *response surface* [10]. Metode *response surface* yang digunakan meliputi rancangan percobaan *Box-Behnken* dan optimasi respon. Rancangan percobaan *Box-Behnken*

yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1 Rancangan *Box-Behnken*

Std Order	Run Order	Tarf Parameter				Parameter			
		A	B	C	D	ON	OFF	IP	V
2	1	1	-1	0	0	10	14	13	8
5	2	0	0	-1	-1	8	16	11	7
8	3	0	0	1	1	8	16	15	9
3	4	-1	1	0	0	6	18	13	8
4	5	1	1	0	0	10	18	13	8
7	6	0	0	-1	1	8	16	11	9
1	7	-1	-1	0	0	6	14	13	8
9	8	0	0	0	0	8	16	13	8
6	9	0	0	1	-1	8	16	15	7
13	10	1	0	1	0	10	16	15	8
10	11	-1	0	-1	0	6	16	11	8
16	12	0	-1	0	1	8	14	13	9
18	13	0	0	0	0	8	16	13	8
14	14	0	-1	0	-1	8	14	13	7
11	15	1	0	-1	0	10	16	11	8
12	16	-1	0	1	0	6	16	15	8
17	17	0	1	0	1	8	18	13	9
15	18	0	1	0	-1	8	18	13	7
23	19	0	-1	-1	0	8	14	11	8
19	20	-1	0	0	-1	6	16	13	7
27	21	0	0	0	0	8	16	13	8
21	22	-1	0	0	1	6	16	13	9
24	23	0	1	-1	0	8	18	11	8
22	24	1	0	0	1	10	16	13	9
25	25	0	-1	1	0	8	14	15	8
26	26	0	1	1	0	8	18	15	8
20	27	1	0	0	-1	10	16	13	7

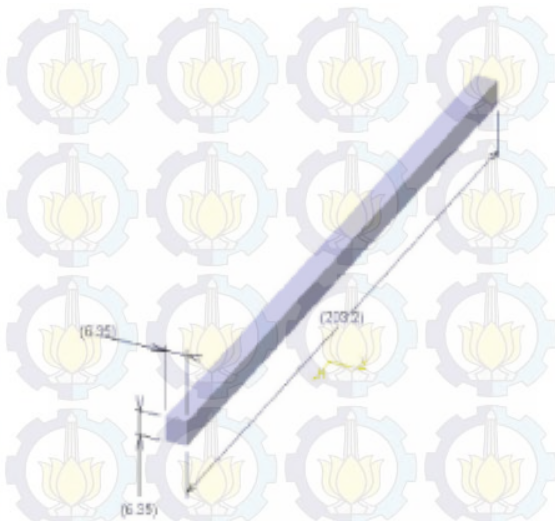
2.3. Bahan Penelitian

a. Benda kerja

Dalam penelitian ini digunakan bahan kerja baja perkakas HSS (BOHLER MO RAPID EXTRA 1200). Benda kerja ini memiliki kekerasan 64,67 HRC dengan dimensi 203,2 x 6,35 x 6,35 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

2.4. 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 dalam penelitian ini adalah Sodick AQ325L dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Arah pergerakan : 5 axis, (x, y, z, u, v)
- Diameter kawat : 0.15-0.3 mm
- Kecepatan kawat maksimal : 250 mm/sec
- Dimensi meja kerja (WxD) : 600x400 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 μ m.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil percobaan dengan rancangan percobaan *Box-Behnken* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil percobaan

Sud Order	Run Order	Parameter				Respon	
		ON	OFF	IP	V	Tebal lapisan recast (µm)	Waktu Pemotongan (desk)
2	1	10	14	13	8	13	99
5	2	8	16	11	7	6,96	105
8	3	8	16	15	9	14,14	98
3	4	6	18	13	8	7,69	109
4	5	10	18	13	8	12,49	107
7	6	8	16	11	9	5,09	115
1	7	6	14	13	8	5,78	114
9	8	8	16	13	8	14,81	114
6	9	8	16	15	7	5,54	112
13	10	10	16	15	8	14,12	100
10	11	6	16	11	8	6,64	113
16	12	8	14	13	9	8,52	100
18	13	8	16	13	8	14,07	111
14	14	8	14	13	7	5,38	107
11	15	10	16	11	8	10,87	108
12	16	6	16	15	8	7,45	109
17	17	8	18	13	9	12,57	105
15	18	8	18	13	7	11,33	105
23	19	8	14	11	8	7,89	114
19	20	6	16	13	7	4,71	114
27	21	8	16	13	8	13,98	112
21	22	6	16	13	9	9,93	100
24	23	8	18	11	8	9,11	115
22	24	10	16	13	9	11,98	98
25	25	8	14	15	8	8,82	103
26	26	8	18	15	8	11,82	107
20	27	10	16	13	7	10,6	102

3.1. Analisa Tebal Lapisan Recast

Hasil analisis regresi pengaruh masing-masing variabel proses terhadap tebal lapisan recast dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Koefisien Tebal Lapisan Recast

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constan	14.287	0.7188	19.877	0.000
ON	2.572	0.3594	7.156	0.000
OFF	1.302	0.3594	3.622	0.002
IP	1.277	0.3594	3.555	0.002
V	1.476	0.3594	4.107	0.001
ON*ON	-2.004	0.5391	-3.717	0.002
OFF*OFF	-2.111	0.5391	-3.916	0.001
IP*IP	-2.855	0.5391	-5.296	0.000
V*V	-3.068	0.5391	-5.69	0.000
IP*V	2.617	0.6225	4.205	0.001

Berdasarkan analisis regresi yang telah dilakukan didapatkan persamaan empiris hubungan antara variabel pemotongan terhadap tebal lapisan recast dan didapatkan model regresi sebagai berikut:

$$\hat{Y}_{2R} (\mu\text{m}) = 14.287 + 2.572(\text{ON}) + 1.302(\text{OFF}) + 1.277(\text{IP}) + 1.476(\text{V}) - 2.004(\text{ON})^2 - 2.111(\text{OFF})^2 - 2.855(\text{IP})^2 - 3.068(\text{V})^2 + 2.617(\text{IP} \times \text{V})$$

Tabel 4 menunjukkan ANOVA tebal lapisan recast.

Tabel 4 ANOVA Tebal Lapisan Recast

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	240.749	240.749	27.4165	17.69	0.000
Linear	4	145.415	145.415	36.3537	23.49	0.000
Quare	4	73.929	73.929	18.4821	11.93	0.000
Interaction	1	27.405	27.405	27.4052	17.69	0.001
Residual Error	17	28.347	28.347	1.5498		
Lack-of-Fit	15	25.932	25.932	1.7286	8.33	0.112
Pure Error	2	0.415	0.415	0.2074		
Total	26	273.096				

$$S = 1.245 \quad R\text{-Sq} = 90.4\% \quad R\text{-Sq(ajd)} = 85.2\%$$

Analisa pengaruh masing-masing variabel proses terhadap tebal lapisan recast, beserta fenomena yang terjadi pada penelitian ini dapat disimak pada pemaparan berikut:

Koefisien *ON Time* bernilai positif yang berarti semakin besar nilai *ON Time* semakin tebal pula nilai lapisan recast pada permukaan benda kerja. Hal ini dapat dijelaskan bahwa *ON Time* mempengaruhi lamanya loncatan bunga api listrik yang dihasilkan. Semakin lama *ON Time* maka panas akan terkonduksi lebih dalam pada benda kerja tentu ini akan mempengaruhi tebalnya *heat affected zone* dan lapisan recast pada daerah permukaan. Semakin dalam panas tersebut terkonduksi maka lapisan recast akan semakin tebal.

Koefisien *OFF Time* bernilai positif. Hal ini berarti naiknya nilai *OFF Time* maka lapisan recast pada permukaan benda kerja akan semakin tebal. Hal ini berlawanan dengan teori yang ada dimana dengan lamanya waktu *OFF Time* maka cairan dielektrik mempunyai cukup waktu untuk tidak terionisasi saat melakukan pembilasan sehingga tidak terjadi pembakaran konstan (terus-menerus) yang dapat mengakibatkan lapisan recast akan semakin tebal. Namun pada percobaan ini terjadi hal yang sebaliknya, hal ini disebabkan karena adanya pengaruh oleh variabel lain pada proses pemotongan. Ketiga variabel lain yaitu *ON Time* (ON), kuat arus (IP), dan tegangan (V) memiliki efek yang sama pada proses pemotongan, ketiganya akan menaikkan ketebalan lapisan recast seiring dengan kenaikan nilai ketiga variabel tersebut. Pada saat ketiga variabel tersebut memiliki nilai yang tinggi, variabel *OFF Time* (OFF) akan memberikan pengaruh yang lebih kecil pada proses pemotongan. Hal tersebut mengakibatkan lapisan recast pada permukaan benda kerja semakin tebal pada saat nilai ketiga variabel lainnya tinggi meskipun *OFF Time* memiliki yang tinggi.

Koefisien IP bernilai positif yang berarti semakin besar nilai kuat arus maka akan semakin tebal pula nilai lapisan recast pada permukaan benda kerja. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada Wire-EDM nilai kuat arus mempengaruhi besarnya energi yang digunakan kawat untuk memotong benda kerja. Dengan naiknya jumlah energi yang digunakan untuk memotong benda kerja maka kuat arus memberikan jumlah panas yang lebih tinggi di permukaan. Panas tersebut akan terserap lebih dalam pada benda kerja dan hal ini akan mengakibatkan naiknya tebal lapisan recast pada permukaan benda kerja.

Koefisien V bernilai positif yang berarti semakin besar nilai tegangan maka akan semakin tebal pula nilai lapisan *recast* pada permukaan benda kerja. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada *Wire-EDM*, benda kerja dan elektroda kawat yang dipisahkan oleh cairan dielektrikum mempunyai beda potensial tertentu. Besarnya beda potensial yang dimiliki oleh kedua elektroda tersebut ditentukan oleh besarnya nilai tegangan yang diberikan. Semakin besar nilai tegangan maka semakin besar pula nilai beda potensial antara elektroda kawat dan benda kerja. Sedangkan besarnya beda potensial tersebut mempengaruhi besarnya energi lecutan listrik yang dihasilkan, semakin besar beda potensial maka akan semakin semakin besar pula energi lecutan listrik yang dihasilkan. Panas yang diterima benda kerja semakin besar sehingga tebal lapisan *recast* akan naik.

3.2. Analisa Waktu Pengerjaan

Hasil analisis regresi pengaruh masing-masing variabel proses terhadap lama waktu pengerjaan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Koefisien Waktu Pengerjaan

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constan	111.963	0.9229	121.315	0.000
ON	-3.750	0.6191	-6.057	0.000
OFF	0.971	0.6191	1.481	0.158
IP	-3.417	0.6191	-5.519	0.000
V	-2.417	0.6191	-3.903	0.001
ON*ON	-3.528	0.8756	-4.029	0.001
OFF*OFF	-2.028	0.8756	-2.316	0.034
V*V	-5.028	0.8756	-5.742	0.000
ON*OFF	3.250	1.0723	3.031	0.008
ON*V	2.900	1.0723	2.331	0.033
IP*V	-6.000	1.0723	-5.595	0.000

Berdasarkan analisis regresi yang telah dilakukan didapatkan persamaan empiris hubungan antara variabel pemotongan terhadap waktu pengerjaan dan didapatkan model regresi sebagai berikut:

$$\hat{Y}_{WR}(dt) = 111.963 - 3.75(ON) + 0.917(OFF) - 3.417(IP) - 2.417(V) - 3.528 \times (ON)^2 - 2.028(OFF)^2 - 5.028 \times (V)^2 + 3.25(ON \times OFF) + 2.5(ON \times V) - 6(IP \times V)$$

Tabel 6 menunjukkan ANOVA waktu pengerjaan.

Tabel 6 ANOVA Waktu Pengerjaan

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	10	785.593	785.593	78.559	17.08	0.000
Linear	4	386.000	389.000	97.250	21.14	0.000
Quare	3	185.343	185.343	61.781	13.43	0.000
Interaction	3	211.250	211.250	70.417	15.31	0.000
Residual Error	18	73.593	73.593	4.000		
Lack-of-Fit	14	68.026	68.026	4.923	2.11	0.366
Pure Error	2	4.867	4.867	2.333		
Total	28	859.185				

$$S = 2.145 \quad R-Sq = 91.4\% \quad R-Sq(Adj) = 86.1\%$$

Analisa pengaruh masing-masing variabel proses terhadap waktu pengerjaan, beserta fenomena yang

terjadi pada penelitian ini dapat disimak pada pemaparan berikut:

Koefisien *ON Time* bernilai negatif yang berarti semakin besar nilai *ON Time* maka akan semakin kecil nilai waktu pengerjaan. Hal ini dapat dijelaskan bahwa dengan nilai *ON Time* (*ON*) yang lebih besar, akan terjadi proses loncatan bunga api listrik yang semakin lama. Dengan demikian semakin banyak bahan benda kerja yang terkikis dalam setiap satuan waktu sehingga waktu pengerjaan yang dibutuhkan menjadi semakin singkat.

Koefisien *OFF Time* bernilai positif yang berarti semakin besar nilai *OFF Time* maka akan semakin besar pula nilai waktu pengerjaan. Hal ini dikarenakan dengan nilai *OFF Time* yang semakin besar menjadikan waktu antar loncatan bunga api listrik semakin lama dan mengakibatkan waktu pengerjaan semakin panjang.

Koefisien *IP* bernilai negatif yang berarti semakin besar nilai kuat arus maka akan semakin kecil nilai waktu pengerjaan. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada *Wire-EDM* nilai kuat arus mempengaruhi besarnya energi yang digunakan kawat untuk memotong benda kerja. Dengan naiknya jumlah energi yang digunakan untuk memotong benda kerja maka waktu pengerjaan yang dibutuhkan akan semakin turun.

Koefisien V bernilai negatif yang berarti semakin besar nilai tegangan maka akan semakin kecil nilai waktu pengerjaan. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada *Wire-EDM*, benda kerja dan elektroda kawat yang dipisahkan oleh cairan dielektrikum mempunyai beda potensial tertentu. Besarnya beda potensial yang dimiliki oleh kedua elektroda tersebut ditentukan oleh besarnya nilai tegangan yang diberikan. Semakin besar nilai tegangan maka semakin besar pula nilai beda potensial antara elektroda kawat dan bendakerja. Sedangkan besarnya beda potensial tersebut mempengaruhi besarnya energi lecutan listrik yang dihasilkan, semakin besar beda potensial maka akan semakin semakin besar pula energi lecutan listrik yang dihasilkan. Hal ini tentu membuat waktu pengerjaan akan semakin turun.

3.3. Optimasi Respon

Metode optimasi respon adalah suatu metode yang bertujuan untuk menghasilkan prediksi respon paling optimal dari target respon yang ingin dicapai. Untuk respon ketebalan lapisan *recast* maupun waktu pengerjaan, *set up goal* yang dipilih adalah *minimize* karena respon tersebut semakin kecil semakin baik (*smaller is better*).

Nilai batasan yang dipilih untuk optimasi respon ditunjukkan pada Tabel 7 berikut ini:

Tabel 7 Batasan Optimasi Respon

Respon	Goal	Target	Upper
Tebal Lapisan <i>Recast</i> (μm)	Minimize	0	20

Waktu Pengerjaan (detik)	Minimize	0	120
--------------------------	----------	---	-----

Hasil akhir optimum respon dengan *composite desirability* tertinggi sebesar 0.73046 ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8 Hasil Optimasi Respon

Local Solution		Predicted Responses	
ON	10	Tebal lapisan recast (μm)	5.383
OFF	14	D=0.73009	
IP	11	Waktu pengerjaan (detik)	90.7963
V	7	D=0.73083	
Composite Desirability = 0.73046			

Nilai *desirability* hasil optimasi serentak kedua respon adalah sebesar 0.73046. Nilai *desirability* yang sempurna adalah 1. Namun nilai diatas merupakan nilai yang paling optimal yang dapat dicapai pada percobaan ini. Hal ini dapat terjadi karena adanya kompromi antara kedua respon yang harus dilakukan dimana kedua respon tersebut memiliki sifat yang saling berlawanan.

3.4. Eksperimen Konfirmasi

Untuk mengetahui sejauh mana ketepatan dari nilai-nilai stasioner yang secara statistik menghasilkan nilai respon optimum, maka dilakukan validasi terhadap nilai-nilai stasioner tersebut dengan memilih nilai-nilai variabel proses yang ada pada mesin yang besarnya mendekati nilai variabel yang tertera pada Tabel 8. Tabel 9 berikut ini adalah hasil dari percobaan konfirmasi:

Tabel 9 Hasil Percobaan Konfirmasi

Parameter				Respon	
ON	OFF	IP	V	Waktu Pengerjaan (detik)	Tebal Lapisan Recast (μm)
				101	6.54
10	14	11	7	110	4.98
				95	6.01
Rata-rata				102	5.84

Dari data pada Tabel 9 terlihat bahwa nilai-nilai ketebalan lapisan *recast* dan waktu pengerjaan yang dihasilkan mendekati nilai-nilai yang dihasilkan oleh optimasi. Untuk membuktikan ada atau tidak ada penyimpangan antara hasil percobaan konfirmasi dengan hasil optimasi dilakukan uji hipotesa yang berhubungan dengan:

1. Tebal lapisan *recast*.

Hipotesa yang digunakan:

$$H_0 : \mu = 5.38$$

$$H_1 : \mu \neq 5.38$$

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan antara hasil optimasi dengan hasil percobaan konfirmasi.

2. Waktu pengerjaan
Hipotesa yang digunakan:

$$H_0 : \mu = 91$$

$$H_1 : \mu \neq 91$$


Hasil pengujian menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan antara hasil optimasi dengan hasil percobaan konfirmasi.

4. KESIMPULAN

1. Dalam penelitian ini secara individu semua parameter proses berpengaruh secara signifikan secara statistik terhadap tebal lapisan *recast* dan waktu pengerjaan.
2. Interaksi antar parameter yang pengaruhnya signifikan secara statistik terhadap perubahan tebal lapisan *recast* adalah interaksi *Main Power Supply Current (IP)* dengan *Main Power Supply Voltage (V)*. Sedangkan yang berpengaruh terhadap waktu pengerjaan adalah interaksi *Main Power Supply Current (IP)* dengan *Main Power Supply Voltage (V)*.
3. Melalui optimasi multi respon dengan menggunakan metode *response surface* dan pendekatan fungsi *desirability* pada pemotongan sepanjang 6,35 mm dicapai waktu pengerjaan tersingkat 91 detik dan tebal lapisan *recast* pada permukaan benda kerja hasil pemotongan yang paling minimum adalah 5.38 mm. Kedua nilai tersebut diperoleh dengan menetapkan nilai *ON Time (ON)* sebesar 0.1 μs , *OFF Time (OFF)* sebesar 0.14 μs , kuat arus (IP) sebesar 11A, dan tegangan (V) sebesar 70 Volt.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. C. Pandey, 1980, *Modern Machining Processes*, Mc Graw-Hill, New Delhi.
- [2] R. C. Stephenson, 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.
- [3] Uddeholm Tooling, *EDM of Tool Steel*, 2007, An article, Uddeholm Tooling.
- [4] C. Sommer, dan S. Sommer, 2005, *Complete EDM Handbook*, Advanced Publishing, Inc, Houston.
- [5] M. Boujelbene, E. Bayraktar a, W. Tebni, & S. Ben Salem, 2009, Influence of machining parameters on the surface integrity in electrical discharge machining, *World Academy of Materials and Manufacturing Engineering Journal*, 37, 110-166.
- [6] E. B. Guitrau, 1997, *The EDM Handbook*, Hanser Gardner Publications, Cincinnati.

- 
- [7] A. Himawan, 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.
- [8] G. Derringer and R. Suich, 1980, Simultaneous Optimization of Several Response Variables, *J. of Quality Technology*, 12, 214-219.
- [9] V. Gaspersz, 1995, *Teknik Analisis Dalam Penelitian Percobaan*, Jilid 2, Tarsito, Bandung.
- [10] K. Yang, dan B. El-Haik, 2003, *Design for Six Sigma: A Roadmap for Product Development*, Mc Graw-Hill, New York.