

## VARIASI KUAT ARUS, TEGANGAN DAN ON TIME PULSE UNTUK MENGOPTIMALKAN KEKASARAN PERMUKAAN

Musabbikhah<sup>1)</sup>, HS.Widodo<sup>2)</sup> dan Andreas Gumawan (Wong Tjok Djoe)<sup>3)</sup>

Prodi. Teknik Mesin, AT.Warga Surakarta<sup>1,2)</sup>

Prodi.Teknik Elektro, AT.Warga Surakarta<sup>3)</sup>

e-mail : mus\_a2002@yahoo.com<sup>3)</sup>

### Abstrak

*Kekasaran permukaan merupakan ketidak teraturan konfigurasi permukaan yang dihasilkan pada proses EDM, berbentuk kawah-kawah kecil pada suatu permukaan. Tingginya kekasaran permukaan dies berdampak pada rendahnya kualitas produk yang dihasilkan, sehingga tidak dapat bersaing di pasar.*

*Permasalahan yang dihadapi dalam pembuatan dies adalah tidak optimalnya proses setting mesin EDM. Oleh karena itu perlu untuk memperbaiki setting parameter proses EDM. Independent variable yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuat arus, tegangan, on time pulse, dan interaksi antara kuat arus dengan tegangan masing-masing 2 level faktor. Adapun dependent variable adalah kekasaran permukaan. Karakteristik yang digunakan untuk meminimasi kekasaran permukaan adalah Smaller The Better (STB). Penelitian ini diterapkan pada EDM merk MACHO dan alat uji yang digunakan adalah roughness tester.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat arus, tegangan, interaksi kuat arus dengan tegangan dan on time pulse memberikan persen kontribusi pada kekasaran permukaan masing-masing adalah 64.659%, 10.265%, 8.635% dan 14.722%. Nilai optimal kekasaran permukaan dicapai pada kondisi A1B1C1, artinya untuk meminimalkan kekasaran permukaan perlu dilakukan variasi parameter kuat arus 4A ;tegangan 75V dan on time pulse 200 $\mu$ s.*

*Kata Kunci : EDM, Kekasaran Permukaan, Kuat Arus, Tegangan, On Time Pulse*

### PENDAHULUAN

Dalam proses manufaktur khususnya pengecoran, dies memegang peranan yang sangat penting dan sangat berpengaruh pada kualitas produk yang dihasilkan. Agar dihasilkan produk yang berkualitas tinggi, maka diperlukan dies dengan kekasaran permukaan yang kecil. Sehingga faktor tersebut harus diperhatikan di dalam proses pembuatan dies menggunakan EDM (*Electrical Discharge Machining*). Pada pembuatan dies dengan proses EDM, percutan tidak hanya terjadi pada benda kerja akan tetapi juga terjadi pada elektrode (*tool*). Hal ini akan menyebabkan terjadinya keausan pahat (elektrode). Terjadinya keausan pada elektrode tersebut akan mengakibatkan tingginya kekasaran permukaan yang dihasilkan. Untuk itu kekasaran permukaan harus diminimasi.

EDM (*Electrical Discharge Machining*) adalah mesin non konvensional yang bekerja berdasarkan terjadinya loncatan bunga api secara periodik dari elektrode ke benda kerja. Pengerjaan dengan proses EDM tidak tergantung pada kekerasan dan kekuatan bahan, tetapi pada titik leleh material (G.Semon, 1993).

Proses pengerjaan dengan EDM mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan proses-proses yang lain antara lain:

1. Mampu mengerjakan benda kerja yang berbentuk kompleks.
2. Produk yang dihasilkan dari proses ini mempunyai kepresisian yang lebih baik jika dibandingkan dengan proses yang lain.
3. Dapat mengerjakan benda kerja yang sangat keras terutama material dengan karbon tinggi.
4. Tidak terjadi kontak secara langsung antara benda kerja dengan elektrode sehingga memungkinkan pengerjaan benda-benda kerja yang tipis.
5. Hampir semua pengerjaan pada mesin konvensional dapat dikerjakan dengan EDM.
6. Panas yang terjadi tidak merambat ke seluruh benda kerja.

Kompleksnya permasalahan yang sering dihadapi dalam pengoperasian EDM dapat menyebabkan produk-produk yang dihasilkan kualitasnya menurun, akibat kurang presisi dan kekasaran permukaan yang tinggi sehingga tidak dapat menembus pangsa pasar.

Permasalahan yang sedang dihadapi dalam proses pembuatan dies yang berkualitas adalah proses setting mesin EDM yang belum optimal. Adapun akibat lain

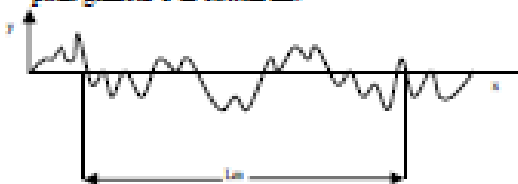
yang bisa dihasilkan oleh dies yang kurang baik yaitu rendahnya kualitas produk yang akan dihasilkan dari dies tersebut, sehingga mengakibatkan peningkatan siklus dan biaya produksi.

Tujuan penelitian ini adalah memperbaiki setting level-level dari variabel proses mesin EDM dalam upaya untuk memenuhi spesifikasi yang diinginkan, mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan yang dihasilkan oleh mesin EDM untuk meningkatkan kualitas dies dan menghitung nilai taksiran kekasaran permukaan yang optimal agar dapat meminimasi fungsi kerugian.

### PENELITIAN TERDAHULU

Menurut Widodo (2003), pada dasarnya kekasaran permukaan merupakan ketidakaturan konfigurasi permukaan yang dihasilkan pada proses EDM adalah konfigurasi permukaan tingkatan ketiga yang bentuknya dapat berupa kawah-kawah kecil pada suatu permukaan. Apabila dies mempunyai kekasaran permukaan tinggi, maka produk-produk yang dihasilkan berkualitas rendah sehingga tidak dapat bersaing di pasar. Kekasaran permukaan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Kekasaran permukaan yang diperoleh dengan kondisi ideal dimana hanya dipengaruhi oleh variabel pemrosesan saja. Pada proses EDM kekasaran permukaan ideal dipengaruhi oleh Tegangan listrik dan kuat arus. Kekasaran permukaan produk pada proses EDM juga dipengaruhi oleh arus listrik yang mengalir pada alat tersebut, karena proses pengerjaan pada proses EDM tergantung pada besarnya energi listrik yang diubah menjadi energi panas.
2. Kekasaran permukaan natural merupakan kekasaran permukaan yang dipengaruhi oleh ketidak teraturan selama proses pemrosesan, kesalahan operator dan getaran mesin. Parameter-parameter pada kekasaran permukaan dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Parameter Permukaan

Variabel kekasaran permukaan, laju keausan elektrode dan ketelitian dimensi dipengaruhi oleh arus, time pulse dan tegangan dan interaksi kedua faktor tersebut (Edy, 2000). Kombinasi level faktor yang menghasilkan ketiga respon yang optimum adalah setting mesin dengan arus 3A, time pulse 100µm dan tegangan 70 V. Pada interval kepercayaan 95%

diperoleh range harga kekasaran permukaan antara 1.17 µm sampai 1.33 µm.

Marosotnya kepercayaan konsumen untuk melakukan pesanan/order kepada beberapa industri manufaktur, khususnya dies disebabkan karena banyak faktor antara lain : banyak pengusaha pengecoran belum mampu memberikan produk yang presisi, tidak tepat waktu, kualitas rendah (Ugay, 2003). Menurutnya kualitas dies ini dipengaruhi oleh laju keausan elektrode dan kekasaran permukaan yang tinggi.

Proses perlatan yang terjadi pada proses EDM dilakukan oleh sejumlah loncatan bunga api listrik yang terjadi pada celah antara elektrode dan benda kerja, yang terjadi secara periodik (Edy, 2000). Perbedaan yang mendasar antara proses EDM dengan Electrical Arc Machining adalah pada besarnya tegangan antara elektrode dan benda kerja terendam dalam suatu fluida dielektrik. Upaya yang dilakukan untuk menghasilkan loncatan bunga api listrik, maka besarnya tegangan yang terjadi antara elektrode dan benda kerja harus melampaui break down tegangan listrik dari gap tersebut. Besarnya break down tegangan listrik tersebut sangat tergantung pada:

1. Sifat isolator dari fluida dielektrik yang digunakan.
2. Tingkat polusi yang terjadi pada celah dielektrik tersebut.
3. Jarak pada dua posisi terdekat antara elektrode dan benda kerja.

Musabbikhah dan Yulianto (2006) meneliti tentang optimasi kekerasan Vickers dan Rockwell secara serentak dari hasil variasi komposisi carbon baja, komposisi carbon besi, temperatur, inoculan dan interaksi carbon baja dengan carbon besi, serta interaksi carbon besi dengan temperatur dilakukan menggunakan prosedur MRSN. Berdasarkan respon individual pada kekerasan Vickers diperoleh parameter optimal A1B2C2D1, sedangkan pada kekerasan Rockwell diperoleh kondisi optimal A2B2C2D1. Agar proses produksi dapat menghasilkan produk yang berkualitas tinggi, maka perlu dilakukan optimasi kedua respon tersebut secara serentak menggunakan prosedur MRSN. Hasil aplikasi prosedur MRSN menunjukkan bahwa untuk mengoptimalkan kekerasan Vickers dan Rockwell secara serentak diperoleh variasi parameter A1B2C2D2. Oleh karena itu agar diperoleh produk *Gibout Jetor* berkualitas ditinjau dari kekerasan vickers dan Rockwell yang optimal maka dapat dilakukan dengan memvariasikan komposisi carbon baja 0.25%; carbon besi 3%; temperatur 1.600°C dan inoculan 0.3%.

Dalam prinsip kerja metode Taguchi terdapat beberapa tahapan (Evy H dan Musabbikhah, 2002) yaitu :

1. Pemilihan dan Penyusunan Orthogonal Array
2. Perancangan Eksperimen Taguchi
3. Brainstorming
4. Diagram Sebab Akibat (Ishikawa Diagram)
5. Memisahkan faktor kontrol dan noise faktor
6. Menentukan level dari faktor dan nilai faktor
7. Mengidentifikasi faktor yang berinteraksi.

8. Menggambarakan linear graph yang diperlukan untuk faktor kontrol dan interaksi.
9. Memilih Orthogonal Array
10. Memasukkan faktor dan stau interaksi ke dalam kolom
11. Melakukan percobaan
12. Analisis hasil eksperimen
13. Pemilihan level faktor untuk kondisi optimal.
14. Perkiraan rata-rata proses pada kondisi optimal
15. Menjalankan percobaan konfirmasi

Fungsi keraguan dapat dibedakan menjadi tiga jenis (Tong, L and Chao, T Su, 1997), yaitu :

1. Smaller the better  

$$L(y) = k (y-m)^2 \quad (1)$$
2. Nominal the better  

$$L(y) = k(y)^2 \quad (2)$$
3. Larger the better  

$$L(y) = k(1/y)^2 \quad (3)$$

## METODOLOGI PENELITIAN

### Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah variabel dari proses pemecinan pada mesin EDM adalah sebagai berikut :

4. Kuat arus (Variasi : 4 Ampere dan 8 Ampere)
5. Tegangan listrik (Variasi : 75 Volt dan 85 Volt)
6. Outime pulse (Variasi : 200 $\mu$ s dan 450 $\mu$ s)

Adapun taraf/level dari masing-masing variabel bebas dapat disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Tabel variabel bebas

Variabel	Simbol	1	2
Kuat Arus (Ampere)	A	4	8
Tegangan listrik (volt)	B	75	85
Outime pulse ( $\mu$ s)	C	200	450

Adapun variabel terikat (Dependent Variable) yang digunakan adalah kekasaran permukaan (surface roughness)

### Rancangan Percobaan

Untuk memperoleh kombinasi level variabel yang menghasilkan respon yang optimum pada pembuatan diaz dengan proses EDM digunakan rancangan percobaan Taguchi dengan orthogonal array. Untuk memilih orthogonal array yang digunakan, maka harus ditentukan total derajat bebas dari variabel yang digunakan. Pada percobaan ini taraf (level) yang digunakan adalah 2 level pada tiap variabel. Derajat bebas (df) setiap variabel adalah:  $df = (n-1)$ , maka :

$$df_A = 2-1 = 1$$

$$df_B = 2-1 = 1$$

$$df_C = 2-1 = 1$$

Adapun interaksi yang terjadi adalah interaksi antara kuat arus (A) dengan tegangan (B) adalah:

$$df_{AB} = \frac{(n-1)(n-1)}{(2-1)(2-1)} = 1$$

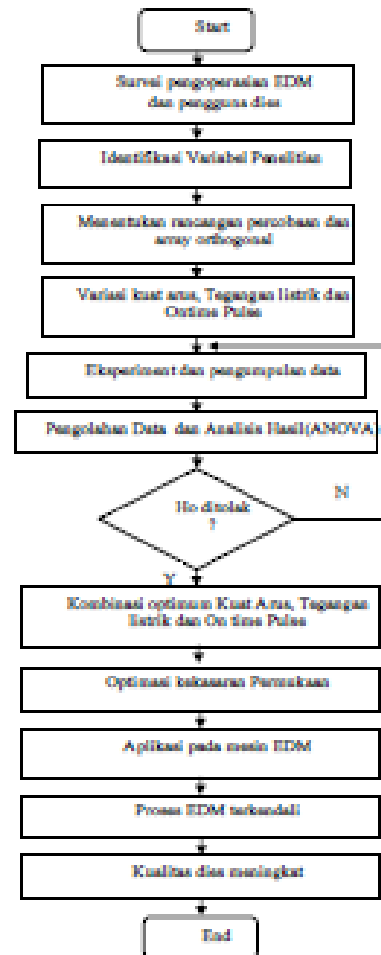
Sehingga total derajat bebas percobaan ini adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} df_{total} &= \sum df_{faktor} + \sum df_{interaksi} \\ &= df_A + df_B + df_C + df_{AB} \\ &= 1 + 1 + 1 + 1 = 4 \end{aligned}$$

Jadi orthogonal array yang digunakan adalah orthogonal yang memiliki minimal 7 baris, untuk itu dipilih  $L_8$ .

### Diagram alir penelitian

Dalam penelitian ini, langkah-langkah yang dilakukan dalam memvariasikan kuat arus, tegangan dan on time pulse agar dapat meminimasi kekasaran permukaan produk yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Flow chart metodologi penelitian

**Model Penelitian**

Model yang digunakan untuk mengetahui kualitas proses EDM ditinjau dari laju keausan elektrode dan kekasaran permukaan yang menggunakan tiga variabel bebas yaitu Kuat Arus (A), Tegangan listrik (B), On Time Pulse (C), dan Interaksi antara kuat arus dengan tegangan (AXB).

$$\bar{Y}_{ijk} = \mu + \bar{A}_i + \bar{B}_j + \bar{C}_k + \bar{AB}_{ij} + \epsilon_{(ijk)} \quad (4)$$

**Hipotesis**

Dari hasil tiap-tiap pengamatan dan pengukuran laju keausan elektrode dan kekasaran permukaan diambil hipotesis sebagai berikut :

1.  $H_{01} : \alpha_1 = \dots = \alpha_n = 0$ : Tidak ada pengaruh perbedaan level kuat arus (Faktor A) pada kekasaran permukaan yang dihasilkan.  
 $H_1$ : Ada pengaruh perbedaan level kuat arus (Faktor A) pada kekasaran permukaan yang dihasilkan
2.  $H_{02} : \beta_1 = \dots = \beta_n = 0$ : Tidak ada pengaruh perbedaan level Tegangan listrik (Faktor B) pada kekasaran permukaan yang dihasilkan.  
 $H_1$ : Ada pengaruh perbedaan level Tegangan listrik (Faktor B) pada kekasaran permukaan yang dihasilkan
3.  $H_{03} : \gamma_1 = \dots = \gamma_n = 0$ : Tidak ada pengaruh perbedaan level On-time Pulse (Faktor C) pada kekasaran permukaan yang dihasilkan.  
 $H_1$ : Ada pengaruh perbedaan level On-time Pulse (Faktor C) pada kekasaran permukaan yang dihasilkan
4.  $H_{04} : \alpha\beta_{11} = \dots = \alpha\beta_{22} = 0$ : Tidak ada pengaruh perbedaan level dari interaksi kuat arus (Faktor A) dengan Tegangan listrik (Faktor B) kekasaran permukaan yang dihasilkan.  
 $H_1$ : Ada pengaruh perbedaan level dari interaksi kuat arus (Faktor A) dengan Tegangan listrik (Faktor B) pada kekasaran permukaan yang dihasilkan

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil**

Tabel 2. Data pengujian kekasaran permukaan

BKs	A	B	AXB	C	s	e	e	n1	n2
1	1	1	1	1	e	e	e	2,74	2,76
2	1	1	1	2	e	e	e	3,05	3,06
3	1	2	2	1	e	e	e	3,17	3,33
4	1	2	2	2	e	e	e	3,42	3,45
5	2	1	2	1	e	e	e	3,57	3,54
6	2	1	2	2	e	e	e	3,91	3,92
7	2	2	1	1	e	e	e	3,36	3,39
8	2	2	1	2	e	e	e	3,95	3,93

Kekasaran permukaan merupakan ketidak taraturan konfigurasi permukaan yang dihasilkan pada proses EDM adalah konfigurasi permukaan tingkatan ketiga

yang bentuknya dapat berupa kavah-kawah kecil pada suatu permukaan

**Pembahasan**

Respon kekasaran permukaan dinyatakan dengan besaran  $\mu_m$ . Karakteristik kualitas yang berkaitan dengan kekasaran permukaan adalah lebih kecil lebih baik. Pertama-tama dilakukan analisis varian terhadap ratio S/N dari data tersebut untuk menentukan faktor-faktor mana saja yang berpengaruh secara signifikan terhadap nilai ratio S/N kekasaran permukaan.

Dengan Anova dua arah akan diketahui faktor utama dan interaksi antara dua faktor utama yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel kekasaran permukaan.

Data yang digunakan pada analisis ini telah ditransformasi kedalam ratio S/N. Faktor-faktor yang akan diuji apakah berpengaruh secara signifikan terhadap respon kekasaran permukaan adalah kuat arus (A), on-time (B), on-time pulse (C), dan interaksi arus dengan tegangan (AxB) yang dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (3)$$

Dimana :

$Y_{ijk}$  = harga kekasaran permukaan pada kuat arus taraf ke-i, tegangan taraf ke-j, on time pulse taraf ke-k dan interaksi AxB.

$\mu$  = rata-rata keseluruhan

$\alpha_i$  = pengaruh faktor A taraf ke-i

$\beta_j$  = pengaruh faktor B taraf ke-j

$\gamma_k$  = pengaruh faktor C taraf ke-k

$\alpha\beta_{ij}$  = pengaruh interaksi faktor AxB

$\epsilon_{ijk}$  = error -II DN  $(0, \sigma^2)$

Secara ringkas ANOVA dua arah respon kekasaran permukaan dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 3. ANOVA Kekasaran Permukaan

Sumber Variasi	DOF (i)	Sum of Sqrs (S)	Variance (V)	F-Ratio (F)	Pure Sum (S')	Percent P(%)
A	1	5,121	5,121	264,665	5,102	64,639
B	1	0,829	0,829	42,858	0,81	10,265
AXB	1	0,7	0,7	36,214	0,681	8,615
C	1	1,181	1,181	61,036	1,161	14,722
Error	3	0,057	0,019			1,719
Total	7	7,891				100%

Pengujian hipotesis dan kesimpulan yang dapat diambil dari tabel ANOVA diatas adalah sebagai berikut:

1.  $H_0 : \alpha_1 = \dots = \alpha_n = 0$  (tidak ada efek faktor kuat arus).

- H1 : paling sedikit ada satu pasang  $\alpha_i$  yang tidak sama.  
Kesimpulan : P Value = 64.639 > 5% maka menolak Ho, yaitu ada pengaruh perbedaan level dari kuat arus pada variabel respon kekasaran permukaan.
2. Ho :  $\beta_1 = \dots \beta_1 = 0$  (tidak ada efek faktor tegangan).  
H1 : paling sedikit ada satu pasang  $\beta_i$  yang tidak sama.  
Kesimpulan : P Value = 10.265 > 5% maka menolak Ho, yaitu terdapat pengaruh perbedaan level dari on - time pulse pada variabel kekasaran permukaan.
3. Ho :  $\gamma_1 = \dots = \gamma_1 = 0$  (tidak ada efek faktor on time pulse).  
H1 : paling sedikit ada satu pasang  $\gamma_i$  yang tidak sama.  
Kesimpulan : P Value = 8.635 > 5% maka menolak Ho, yaitu terdapat pengaruh perbedaan level dari tegangan pada variabel respon kekasaran permukaan.
4. Ho :  $\alpha\gamma_{11} = \dots = \alpha\gamma_{11} = 0$  (tidak ada efek interaksi arus dan tegangan).  
H1 : paling sedikit ada satu pasang  $\alpha\gamma_{11}$  yang tidak sama.  
Kesimpulan : P Value = 14.722 > 5% maka menolak Ho, yaitu ada pengaruh perbedaan level dari interaksi antar arus dan tegangan pada variabel respon kekasaran permukaan.

Berdasarkan Anova,kekasaran permukaan yang diperoleh pada tabel 3 menunjukkan bahwa, kuat arus; tegangan; on time pulse dan interaksi kuat arus dengan tegangan; mempunyai Persen kontribusi (%P) pada proses setting EDM masing-masing 64.639%; 10.265%; 8.635%; dan 14.722%. Artinya semua faktor mempunyai Persen Kontribusi (%P)>5%, maka Ho ditolak. Artinya, faktor yang berpengaruh secara signifikan ( $\alpha=5\%$ ) terhadap variabel respon kekasaran permukaan adalah kuat arus (A), tegangan (B) dan on time pulse (C) serta interaksi arus dengan tegangan (AxB).

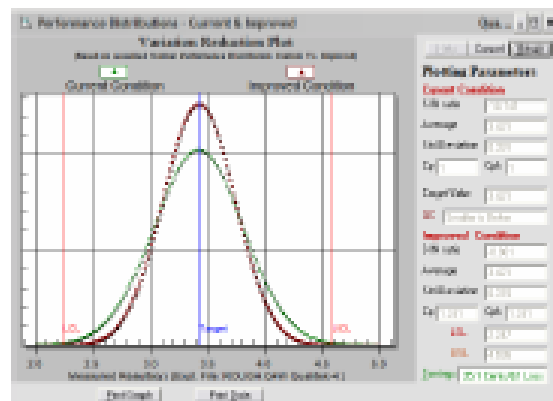
#### Kondisi Optimum Kekasaran Permukaan

Kondisi optimum berguna untuk mengetahui level dari setiap faktor sehingga respon kekasaran permukaan dapat dioptimalkan. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap respon kekasaran permukaan pada percobaan utama adalah kuat arus (A), tegangan (B), on time pulse (C) dan interaksi antara arus dan tegangan (AxB). Kondisi optimum dipilih untuk setiap level yang memberikan nilai rata-rata rasio S/N yang tertinggi. Kondisi optimum untuk respon kekasaran permukaan digambarkan sebagai berikut:

Tabel 4. Kondisi Optimum pada respon kekasaran permukaan

Column/Factor	Level Description	Level	Contribution
1 A: Kuat Arus	4A	1	0.8
2 B: Tegangan	75V	1	0.322
3 INTER AXB	*INTER*	1	0.295
4 C: Time Pulse	200	1	0.384
Total Contribution From All Factors ...			1.8
Current Grand Average Of Performance ...			-10.662
Expected Result at Optimum Condition ...			-8.861

Berdasarkan tabel 4, kondisi optimum pada respon kekasaran permukaan menunjukkan bahwa untuk mengoptimalkan kekasaran permukaan diperlukan setting parameter A1B1C1, artinya kuat arus 4A, tegangan 75 A dan on time pulse 200  $\mu$ s.



Gambar 3. Grafik pengurangan variasi pada kekasaran permukaan

Berdasarkan grafik 4, pada kondisi awal besarnya penyimpangan kekasaran permukaan sebesar 0.391 dapat mengalami penurunan menjadi 0.315. Nilai Capabilitas Proses (Cp) meningkat dari nilai 1 menjadi 1,241 pada *improved condition*. Indeks capabilitas proses Kane juga meningkat dari nilai 1 menjadi 1,241, artinya kemampuan proses pada mesin *capable* karena nilai  $CP > 1$  dan  $CPk > 1$ . Peningkatan keuntungan yang diperoleh sebesar 35 Cents/% I loss. Hal ini menunjukkan bahwa metode Taguchi mampu mengoptimalkan proses operasional EDM untuk menghasilkan produk yang berkualitas.

#### KESIMPULAN

1. Kekasaran permukaan dipengaruhi oleh kuat arus, tegangan, on time pulse dan interaksi antara kuat arus dan tegangan.
2. Kombinasi level faktor untuk setting pemrosesan EDM yang dapat menghasilkan kekasaran permukaan yang optimum adalah kuat arus 4A, tegangan 75V dan on time pulse 200 $\mu$ s.
3. Besarnya penyimpangan kekasaran permukaan sebesar 0,391 dapat mengalami penurunan menjadi 0,315.
4. Nilai Capabilitas Process (Cp) meningkat dari nilai 1 menjadi 1,241 pada *improved condition*.
5. Indeks capabilitas proses Kame juga meningkat dari nilai 1 menjadi 1,241, artinya kemampuan proses pada mesin EDM *capable*, karena nilai CP> 1 dan CPk > 1. Peningkatan keuntungan yang diperoleh sebesar 35 Cents/\$ 1 loss.

#### Daftar Pustaka

- [1] Edy S, 2000, Analisis Optimasi Ketelitian Dimensi dan Kekasaran Permukaan Pada Proses EDM dengan Metode Taguchi, ITS, Surabaya.
- [2] G.Simon, 1995, A Practical Guide To Electro Discharge Machining, Ateliers Des Charmilles S.A, Geneva.
- [3] Musabbikah dan Evy H, 2002, Optimasi Kekuatan Tekan dan Kekuatan Geser pada Furan dengan Prosedur MRSN, Proceeding Seminar Nasional, ITS: Surabaya
- [4] Nicolo Belzandram, 1999, Quality By Design, Second Edition, Prantice Hall, International.
- [5] Phillip J. Ross, 1998, Taguchi Techniques for Quality Engineering, Second Edition, MC Graw Hill, Singapore.
- [6] Tong, L and Chao, T Su., 1997, Optimizing Multirespon Problems In The Taguchi Methods by Fuzzy Multiple Attribute Decision Making, Quality And Relability Engineering International, Vol 13, 25-34.
- [7] Ugray Sugarmansyah, 2003, Analisis Difusi Inovasi Teknologi Pengacoran Logam di Industri Kecil dan Menengah, Prosiding Seminar Nasional, BPPT, Jakarta.
- [8] Widodo H.S, Suhardoko, 2005, Pengaruh Sudut Baji Pahat HSS dan Putaran Mesin Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Mesin Bubut Konvensional, Jurnal Teknika ATW, ISSN:1693-6329 hal 9-19.