

STUDI PENENTUAN TAHAPAN KUAT ARUS UNTUK MENDAPATKAN KEKASARAN PERMUKAAN DAN LAMA WAKTU PROSES YANG DIINGINKAN PADA PROSES *ELECTRIC DISCHARGE MACHINING* (EDM)

Prayogo Putra Poernomo¹⁾, Didik Wahjudi²⁾, Roche Alimin³⁾

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra ^{1,2,3)}

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Indonesia ^{1,2,3)}

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658^{1,2)}

E-mail : m24411027@john.petra.ac.id¹⁾, dwahjudi@petra.ac.id ²⁾, ralimin@petra.ac.id ³⁾

ABSTRAK

Mesin electric discharge machining merupakan salah satu proses permesinan non-konvensional yang sering digunakan dalam pembuatan die mold. Dalam proses pengerjaan menggunakan electric discharge machining memiliki permasalahan yaitu lama waktu proses yang sangat lambat dan sulit untuk menentukan titik dimana kuat arus yang digunakan harus diubah agar hasil kekasaran permukaan yang dihasilkan tidak terlalu kasar diakibatkan penggunaan arus yang besar pada awal proses. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan titik untuk perpindahan arus tersebut untuk mendapatkan kekasaran permukaan dan lama waktu proses yang diinginkan.

Dari hasil percobaan, analisa dan pengolahan data yang dilakukan, didapatkan persamaan regresi untuk menentukan kekasaran permukaan rata-rata (R_a), kekasaran jarak puncak-lembah rata-rata (R_z) dan lama waktu proses (t). Persamaan regresi kekasaran permukaan rata-rata digunakan untuk mencari arus akhir (final current) untuk mendapatkan kekasaran permukaan akhir yang diinginkan. Persamaan regresi kekasaran permukaan puncak-lembah rata-rata digunakan untuk mencari titik pergantian arus awal. Persamaan regresi lama waktu proses digunakan untuk mencari estimasi lama waktu proses pengerjaan dengan input arus awal dan arus akhir.

Kata kunci: Electric Discharge Machining, kekasaran permukaan, lama waktu proses.

1. Pendahuluan

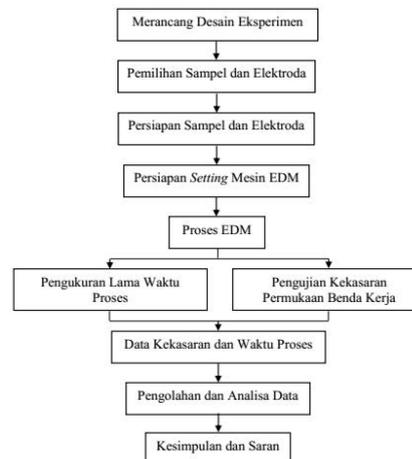
Mesin *electric discharge machining* merupakan salah satu proses permesinan non-konvensional yang sering digunakan dalam pembuatan *die mold*. Dalam proses pengerjaan menggunakan *electric discharge machining* memiliki permasalahan yaitu lama waktu proses yang sangat lambat dan sulit untuk menentukan titik dimana kuat arus yang digunakan harus diubah agar hasil kekasaran permukaan yang dihasilkan tidak terlalu kasar diakibatkan penggunaan arus yang besar pada awal proses. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan titik untuk perpindahan arus tersebut untuk mendapatkan kekasaran permukaan dan lama waktu proses yang diinginkan. Manfaat dari penelitian ini dapat memberi panduan kepada operator mesin EDM untuk memilih arus awal sehingga kekasaran permukaan benda yang dikerjakan sesuai dengan keinginan dan dapat memberikan estimasi lama proses pengerjaan benda dengan mesin EDM.

Penelitian yang dilakukan oleh Mascaraque-Ramirez dan Franco menunjukkan bahwa penggunaan kuat arus yang besar menghasilkan kekasaran permukaan yang semakin kasar. Arus yang besar menghasilkan diameter kawah yang semakin besar sehingga menghasilkan permukaan yang lebih kasar [1]. Rao, Rangajanardhaa, Rao, dan Rao (2009) telah meneliti tentang model hibrida untuk mengoptimisasi kekasaran permukaan dari proses EDM. Dari penelitian

tersebut mereka menemukan parameter kuat arus dan tegangan listrik yang optimum untuk menghasilkan kekasaran permukaan dari material titanium, 15CDV6 dan M250 [2]. Namun dari penelitian yang ada, para praktisi masih belum memiliki patokan kapan harus mengganti dari kuat arus awal yang besar ke kuat arus akhir yang jauh lebih kecil untuk mendapatkan kekasaran permukaan benda kerja yang diinginkan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti tahapan ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir tahapan penelitian.

Merancang Desain Eksperimen

Sebelum eksperimen dimulai, perlu dibuat suatu rancangan eksperimen. Faktor yang digunakan dalam eksperimen ini hanya berjumlah 1, yaitu kuat arus listrik. Faktor ini terdiri dari 10 level dari 0,5 A hingga 5 A dengan jarak 0,5 per level. Rentang jarak 0,5 dipilih karena besar kuat arus ini merupakan arus yang sering digunakan dalam proses EDM. Eksperimen ini dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali tiap level. Dari rancangan tersebut kemudian urutan untuk melakukan eksperimen diacak menggunakan software sehingga tidak terjadi bias.

Pemilihan Sampel

Material benda kerja yang dibutuhkan untuk penelitian adalah material yang biasa digunakan dalam pembuatan *mold*. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja SKD 11 yang berbentuk balok dengan ukuran 200 x 100 x 20 mm dengan kekerasan antara 58-62 HRC yang sering digunakan sebagai bahan dies. SKD 11 merupakan tool steel yang dikerjakan dengan pergerjaan dingin (*cold work*) yang memiliki komposisi kimia berikut 1,56% C, 0,32% Si, 0,32% Mn, 0,024% P, 0,001% S, 11,16% Cr, 0,73% Mo, dan 0,75% V. SKD 11 memiliki sifat-sifat tahan terhadap keausan, deformasi, kompresi dan *cracking*. SKD 11 digunakan untuk aplikasi pada *blanking*, *punch*, *cold forming dies*, *thread roll* dan *trimming*.

Pemilihan Elektroda

Elektoda yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah material yang memiliki konduktivitas listrik yang baik, memiliki titik lebur yang tinggi dan mudah untuk dibentuk. Material elektroda yang digunakan adalah tembaga dibentuk persegi dengan ukuran 10 x 10 mm. Tembaga mempunyai massa jenis 8930 Kg/m³. Tembaga merupakan konduktor listrik yang baik dan panas yang tinggi.

Persiapan Sampel

Sampel dibersihkan dari kotoran dan kemudian diratakan menggunakan mesin *milling* agar permukaan sampel sama rata. Sampel kemudian dihaluskan dengan menggunakan *surface grinding* hingga permukaan sampel nampak seperti kaca (*mirror finish*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sampel SKD 11 yang telah dipersiapkan.

Persiapan Elektroda

Elektroda dipotong dengan menggunakan gerinda potong dengan ukuran 10 x 10 mm. Setelah diperoleh elektroda dengan ukuran tersebut, ujung dari elektroda di ampelas dengan menggunakan kertas ampelas *grade 0* bertahap hingga *grade 800* hingga permukaan elektroda rata dan halus. Ujung lain dari elektroda kemudian di bor dan di tap agar dapat di beri baut sehingga proses pengekaman pada chuck mesin EDM lebih mudah.



Gambar 3. Elektroda yang telah dipersiapkan.

Persiapan Setting Mesin EDM

Langkah-langkah yang dilakukan adalah melakukan setting pada sampel dan pada elektroda dengan menggunakan dial agar hasil pengerjaan benda lurus dan datar. Sampel dicekam pada *table* mesin agar tidak bergerak dan elektroda dicekam pada *chuck*. Pada setting mesin EDM dilakukan pencarian titik nol dari benda terlebih dahulu. Parameter yang digunakan pada mesin EDM adalah kedalaman pemakanan sebanyak 1 mm, *on-time* 40 ms, *off-time* 45 ms, *cycle time* 1,5 s, kenaikan elektroda 2 mm, dan arus yang disesuaikan dengan urutan yang telah ditentukan. Elektroda diletakkan 0,5 mm diatas permukaan sampel sebelum dilakukan proses *discharge*. *Nozzle* untuk menyemprotkan cairan dielektrik kemudian diarahkan tegak lurus dari benda kerja dan elektroda agar cairan dielektrik dapat membilas geram saat proses *discharge*.

Proses EDM

Proses *discharge* kemudian dilakukan menggunakan mesin EDM dengan menggunakan setting yang telah dipersiapkan sebelumnya hingga mencapai kedalaman 1 mm. Mesin EDM yang digunakan adalah CNC EDM tipe SDN 500 buatan AMM, Taiwan milik Laboratorium CNC Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra Surabaya. Percobaan dilakukan sesuai dengan urutan yang telah diacak (*run order*).



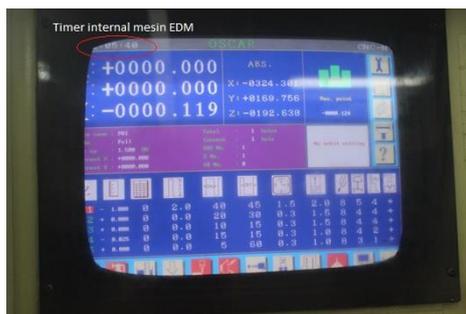
Gambar 4. CNC EDM tipe SDN 500 buatan AMM.



Gambar 5. Proses *discharge* pada mesin EDM.

Pengukuran Waktu Lama Proses

Pengukuran waktu lama proses diambil melalui *timer* yang terdapat pada panel kontrol yang digunakan oleh mesin EDM setelah proses *discharge* selesai. *Timer* di ulang kembali sebelum melakukan proses discharge selanjutnya.



Gambar 6. Timer pada panel kontrol mesin EDM.

Pengujian Kekasaran Permukaan Benda Kerja

Angka kekasaran yang diamati adalah R_a dan R_z yang nilainya dinyatakan dalam μm . Pengukuran diambil pada setting standar JIS2001, *profile R*, *filter Gauss*, λ_c 0,25 mm, λ_s 2,5 μm , dan *range auto*. Angka kekasaran permukaan diambil pada posisi pengukuran disekitar titik pojok atas hasil kerja dengan menggunakan *Surface Roughness Tester* (Mitutoyo, SJ-301, Made in Japan) yang dimiliki laboratorium CNC Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra.



Gambar 7. *Surface Roughness Tester* Mitutoyo SJ-301.

Pengolahan dan Analisa Data

Setelah data percobaan berupa kekasaran permukaan R_a , R_z dan lama waktu proses, pengolahan data dilakukan dengan menggunakan program Minitab. Hasil dari pengolah data menggunakan Minitab kemudian dianalisa agar dapat diambil suatu kesimpulan.

3. Hasil dan Pembahasan

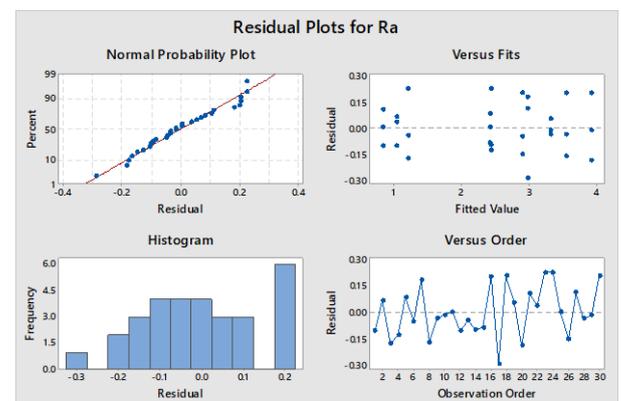
Dari percobaan, didapatkan data respon yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Percobaan

Std Order	Run Order	Kuat Arus Listrik (A)	Waktu Proses (min)	Kekasaran Permukaan Rata-Rata (μm)	Jarak Puncak-Lembah Rata-Rata (μm)
1	13	0.5	1829.35	0.73	6.74
2	21	1.0	701.61	1.11	8.72
3	16	1.5	333.85	1.03	9.36
4	9	2.0	62.12	2.31	12.39
5	30	2.5	76.88	2.5	18.73
6	24	3.0	48.63	2.85	18.78
7	11	3.5	30.52	3.16	18.51
8	4	4.0	13.37	3.39	18.46
9	29	4.5	13.05	3.28	19.46
10	7	5.0	9.87	3.91	21.56
11	25	0.5	1176.83	0.84	6.75
12	26	1.0	393.42	0.94	9.03
13	18	1.5	373.25	1.16	9.41
14	1	2.0	76.2	2.34	10.47
15	2	2.5	83.22	2.33	17.97
16	14	3.0	27.5	3.1	18.42
17	5	3.5	41.42	2.69	18.65
18	6	4.0	12.87	3.76	18.97
19	27	4.5	13.52	3.37	19.61
20	19	5.0	11.85	3.74	22.48
21	8	0.5	1556.61	0.94	6.08
22	20	1.0	473.81	1.08	8.89
23	3	1.5	413.53	1.43	9.51
24	23	2.0	96.63	2.66	11.52
25	15	2.5	69.72	2.42	16.53
26	17	3.0	54.58	2.75	18.51
27	12	3.5	40.02	3.09	18.09
28	10	4.0	12.73	3.52	18.95
29	28	4.5	13.37	3.3	19.55
30	22	5.0	10.43	4.13	21.82

Pengolahan Data Kekasaran Permukaan Rata-Rata

Data kekasaran permukaan rata-rata yang telah didapatkan diolah menggunakan *one-way ANOVA* menggunakan MINITAB menghasilkan hasil analisa sebagai berikut.



Gambar 8. *Residual Plot* dari Kekasaran Permukaan Rata-Rata.

Gambar 8 menunjukkan bahwa *normal probability plot* data residual berada pada disekitar garis lurus. Hal ini menunjukkan bahwa data terdistribusi normal. Dari grafik *versus fits*, data menyebar dan tidak membentuk

pola tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa pada setiap *fitted value* memiliki residual yang cukup homogen. Dari grafik histogram, nilai residual masih dapat dikatakan terdistribusi dengan normal. Dari grafik *versus order*, data tidak membentuk suatu pola sehingga data yang didapatkan independen.

Hasil analisa *one-way* ANOVA menghasilkan tabel ANOVA seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

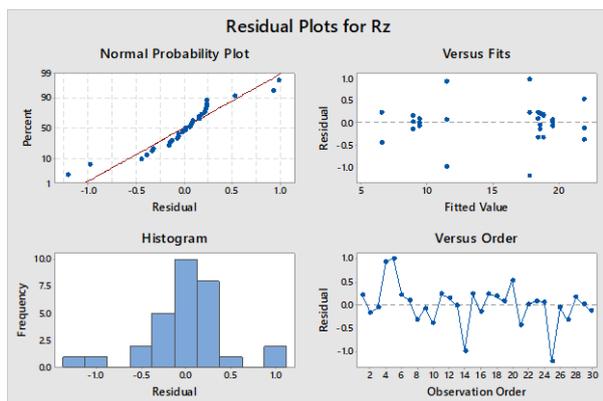
Tabel 2. Hasil ANOVA dari Kekasaran Permukaan Rata-Rata.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Kuat Arus	9	32.3011	3.58902	128.98	0.000
Error	20	0.5565	0.02783		
Total	29	32.8577			

Dari Tabel 2, terlihat bahwa *p-value* lebih kecil dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa kuat arus listrik berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan rata-rata. Semakin besar kuat arus yang digunakan, maka semakin besar kekasaran permukaan rata-rata.

Pengolahan Data Jarak Puncak-Lembah Rata-Rata

Data kekasaran permukaan yang telah didapatkan diolah menggunakan *one-way* ANOVA menggunakan MINITAB menghasilkan hasil analisa sebagai berikut.



Gambar 9. Residual Plot dari Jarak Puncak-Lembah Rata-Rata.

Gambar 9 menunjukkan bahwa *normal probability plot* data residual berada pada disekitar garis lurus. Hal ini menunjukkan bahwa data terdistribusi normal. Dari grafik *versus fits*, data menyebar dan tidak membentuk pola tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa pada setiap *fitted value* memiliki residual yang cukup homogen. Dari grafik histogram, nilai residual masih dapat dikatakan terdistribusi dengan normal. Dari grafik *versus order*, data tidak membentuk suatu pola sehingga data yang didapatkan independen.

Hasil analisa *one-way* ANOVA menghasilkan tabel ANOVA seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

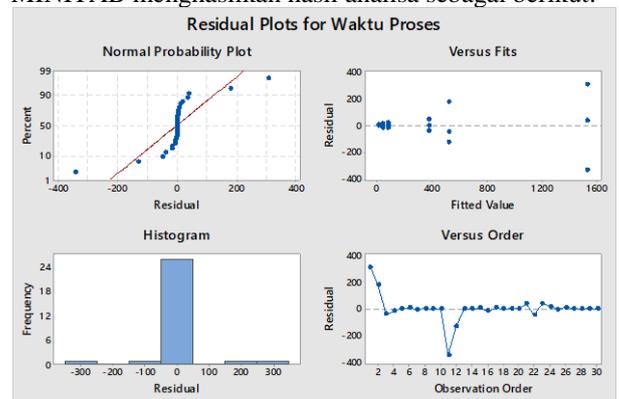
Tabel 3. Hasil ANOVA dari Jarak Puncak-Lembah Rata-Rata.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Kuat Arus	9	804.076	89.3418	320.88	0.000
Error	20	5.569	0.2784		
Total	29	809.645			

Dari Tabel 3, terlihat bahwa *p-value* lebih kecil dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa kuat arus listrik berpengaruh signifikan terhadap jarak puncak-lembah rata-rata. Semakin besar kuat arus yang digunakan, maka semakin besar jarak puncak-lembah rata-rata.

Pengolahan Data Lama Waktu Proses

Data lama waktu proses yang telah didapatkan diolah menggunakan *one-way* ANOVA menggunakan MINITAB menghasilkan hasil analisa sebagai berikut.



Gambar 10. Residual Plot dari Kekasaran Permukaan Rata-Rata.

Gambar 10 menunjukkan bahwa dari grafik *normal probability plot*, data residual tidak berada pada disekitar garis lurus dan membentuk "S". Hal ini menunjukkan bahwa data tidak terdistribusi normal. Dari grafik *versus fits*, data tidak menyebar dan membentuk suatu pola dimana data berkumpul di bagian kiri grafik. Hal ini menunjukkan bahwa pada setiap *fitted value* memiliki residual yang berbeda-beda. Dari grafik histogram, nilai residual tidak terdistribusi dengan normal. Dari grafik *versus order*, data banyak berada di garis 0 sehingga dapat dikatakan data yang didapatkan tidak independen. Dari analisa *residual plot* tersebut, maka perlu adanya transformasi terhadap data agar dapat memenuhi asumsi-asumsi yang mendasari analisis.

Transformasi Data Lama Waktu Proses

Dari hasil analisa yang didapatkan dari grafik normal probability plot dan versus fits, data yang didapatkan dari percobaan lama waktu proses perlu transformasi agar dapat memenuhi asumsi-asumsi yang mendasari analisis. Hasil data yang didapatkan kemudian diubah menggunakan rumus seperti berikut:

$$t' = \log t$$

Dimana:

t' = log lama waktu proses

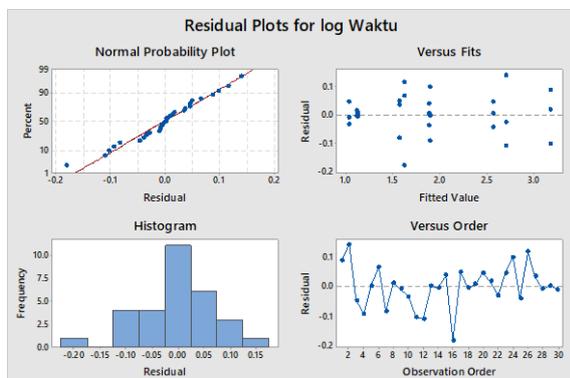
t = lama waktu proses

Setelah diubah didapatkan data sebagai mana diberikan oleh Tabel 4.

Tabel 4. Data Hasil Percobaan Lama Waktu Proses Setelah Ditransformasi.

Std Order	Waktu Proses (Menit)	t'	Std Order	Waktu Proses (Menit)	t'
1	1829.35	3.26	16	27.50	1.44
2	701.61	2.85	17	41.42	1.62
3	333.85	2.52	18	12.87	1.11
4	62.12	1.79	19	13.52	1.13
5	76.88	1.89	20	11.85	1.07
6	48.63	1.69	21	1556.61	3.19
7	30.52	1.48	22	473.81	2.68
8	13.37	1.13	23	413.53	2.62
9	13.05	1.12	24	96.63	1.99
10	9.87	0.99	25	69.72	1.84
11	1176.83	3.07	26	54.58	1.74
12	393.42	2.59	27	40.02	1.60
13	373.25	2.57	28	12.73	1.10
14	76.20	1.88	29	13.37	1.13
15	83.22	1.92	30	10.43	1.02

Data yang telah diubah kemudian dianalisa kembali menggunakan Minitab dengan metode *one-way* ANOVA.



Gambar 11. Residual Plot Lama Waktu Proses Setelah Ditransformasi.

Gambar 11 menunjukkan bahwa *normal probability plot* data residual berada pada disekitar garis lurus. Hal ini menunjukkan bahwa data terdistribusi normal. Dari grafik *versus fits*, data menyebar dan tidak membentuk pola tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa pada setiap *fitted value* memiliki residual yang cukup homogen. Dari grafik histogram, nilai residual terdistribusi dengan normal. Dari grafik *versus order*, data tidak membentuk suatu pola sehingga data yang didapatkan independen.

Hasil analisa *one-way* ANOVA menghasilkan tabel ANOVA seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil ANOVA dari Lama Waktu Proses Setelah Ditransformasi.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Kuat Arus	9	14,6462	1,62735	228,39	0,000
Error	20	0,1425	0,00713		
Total	29	14,7887			

Dari Tabel 5 terlihat bahwa *p-value* lebih kecil dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa kuat arus listrik berpengaruh signifikan terhadap log lama waktu proses. Semakin besar kuat arus yang digunakan, maka semakin besar nilai log waktu proses yang dibutuhkan.

Penggunaan Data

Data yang telah dianalisa kemudian digunakan untuk mencari suatu persamaan yang dapat digunakan untuk mencari hasil kekasaran permukaan dan lama waktu proses yang diinginkan. Data kemudian diregresi untuk menemukan persamaan tersebut. Regresi digunakan untuk memprediksi besar kuat arus yang digunakan pada mesin EDM sehingga dapat menghasilkan kekasaran permukaan dan lama waktu proses yang ideal.

Dengan menggunakan Minitab, data hasil kekasaran permukaan dan log lama waktu proses diolah dengan menggunakan regresi linier. Data log lama waktu proses digunakan dikarenakan pada analisa ANOVA data lama waktu proses kurang sesuai. Hasil dari regresi log lama waktu proses kemudian diubah menjadi persamaan waktu lama proses. Dari hasil pengolahan tersebut didapatkan persamaan regresi linier sebagai berikut

Persamaan regresi untuk kekasaran permukaan rata-rata:

$$R_a = 0,5424 + 0,698 I$$

Dimana:

R_a = Kekasaran permukaan rata-rata (μm)

I = Besar kuat arus (A)

Persamaan regresi untuk jarak puncak-lembah rata-rata:

$$R_z = 5,73 + 3,418 I$$

Dimana:

R_z = Jarak puncak-lembah rata-rata (μm)

I = Besar kuat arus (A)

Persamaan regresi untuk waktu lama proses

$$t' = 3,164 - 0,4714 I$$

$t' = \log t$

$$\log t = 3,164 - 0,4714 I$$

$$t = 10^{3,164 - 0,4714 I}$$

Dimana:

t' = Log lama waktu proses

t = Lama waktu proses per 1 mm (menit/mm)

I = Besar kuat arus (A)

Persamaan regresi tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan hasil kekasaran permukaan rata-rata, jarak puncak-lembah rata-rata, lama waktu proses atau kuat arus yang dibutuhkan jika salah satu variable tersebut diketahui. Berikut adalah contoh kasus dimana rumus regresi tersebut dapat digunakan.

Contoh Kasus 1:

Diinginkan pengerjaan dengan kedalaman 2,5 mm dengan kekasaran permukaan grade N7 menggunakan mesin EDM. Berapakah arus yang digunakan untuk initial current dan final current agar kekasaran akhir tercapai? Berapa lama proses pengerjaannya? Pada kedalaman berapakah pergntian arus dilakukan?

Untuk menghasilkan kekasaran permukaan grade N7 yang berarti R_a sama dengan 1,6, dibutuhkan final current yang dapat dicari dengan membalik persamaan regresi untuk kekasaran permukaan rata-rata.

$$R_a = 0,5424 + 0,698 I$$

$$I = (R_a - 0,5424) / 0,689$$

$$I = (1,6 - 0,5424) / 0,689$$

$$I = 1,52 \text{ A}$$

Didapatkan final current yang akan digunakan sebesar 1,52 A. Dikarenakan ingin dikerjakan dengan kecepatan tinggi maka pada initial current digunakan arus yang besar, sehingga digunakan arus sebesar 5 A. Dengan initial current tersebut dapat diketahui bahwa perkiraan jarak puncak-lembah rata-rata yang dihasilkan.

$$R_z = 5,73 + 3,418 I$$

$$R_z = 5,73 + 3,418 \times 5$$

$$R_z = 22,82 \mu\text{m}$$

Agar initial current tidak terlalu mempengaruhi hasil akhir pada final current maka dilakukan pergantian arus pada kedalaman yang mendekati jarak puncak-lembah rata-rata yang dihasilkan oleh initial current. Diberi faktor keamanan N sebesar 1,5 agar pemakanan dengan initial current tidak terlalu merusak hasil final current.

$$2,5 - (1,5 \times 0,023) = 2,466 \text{ mm}$$

Pergantian arus dapat dilakukan pada kedalaman yang dibulatkan kebawah menjadi 2,4 mm. Lama waktu proses yang terjadi dapat dihitung sebagai berikut.

$$t = 10^{3,164 - 0,4714 I}$$

$$t_5 = 6,41 \text{ menit/mm}$$

$$t_{1,52} = 281,67 \text{ menit/mm}$$

Penggunaan initial current berlangsung dari titik nol sampai kedalaman 2,4 mm, sehingga waktu pengerjaan dengan initial current berlangsung selama 15,38 menit dan penggunaan final current dari kedalaman 2,4 mm sampai pada kedalaman akhir 2,5 mm, sehingga waktu pengerjaan final current berlangsung 28,17 menit. Total pengerjaan benda diperkirakan selesai dalam 43,55 menit.

Contoh Kasus 2:

Diinginkan pengerjaan dengan kriteria yang sama dengan contoh kasus 1 yaitu kedalaman pengerjaan 2,5 mm dengan kekasaran rata-rata pada akhir pengerjaan mendekati $1 \mu\text{m}$ menggunakan mesin EDM namun menggunakan initial current sebesar 3,5 A. Berapakah arus yang digunakan untuk final current agar kekasaran akhir tercapai? Berapa lama proses pengerjaannya? Pada kedalaman berapakah pergntian arus dilakukan?

Untuk menghasilkan kekasaran permukaan akhir yang mendekati $1 \mu\text{m}$, dibutuhkan final current yang dapat dicari dengan membalik persamaan regresi untuk kekasaran permukaan rata-rata.

$$R_a = 0,5424 + 0,698 I$$

$$I = (R_a - 0,5424) / 0,689$$

$$I = (1,6 - 0,5424) / 0,689$$

$$I = 1,52 \text{ A}$$

Didapatkan final current yang akan digunakan

sebesar 0,65 A. Initial current yang akan digunakan sebesar 3,5 A. Dengan initial current tersebut dapat diketahui bahwa perkiraan jarak puncak-lembah rata-rata yang dihasilkan.

$$R_z = 5,73 + 3,418 I$$

$$R_z = 5,73 + 3,418 \times 3,5$$

$$R_z = 17,63 \mu\text{m}$$

Agar initial current tidak terlalu mempengaruhi hasil akhir pada final current maka dilakukan pergantian arus pada kedalaman yang mendekati jarak puncak-lembah rata-rata yang dihasilkan oleh initial current. Diberi faktor keamanan N sebesar 1,5 agar pemakanan dengan initial current tidak terlalu merusak hasil final current.

$$2,5 - (1,5 \times 0,018) = 2,473$$

Pergantian arus dapat dilakukan pada kedalaman yang dibulatkan kebawah menjadi 2,4 mm. Lama waktu proses yang terjadi dapat dihitung sebagai berikut.

$$t = 10^{3,164 - 0,4714 I}$$

$$t_{3,5} = 32,66 \text{ menit/mm}$$

$$t_{0,65} = 281,67 \text{ menit/mm}$$

Penggunaan initial current berlangsung dari titik nol sampai kedalaman 2,4 mm, sehingga waktu pengerjaan dengan initial current berlangsung selama 78,38 menit dan penggunaan final current dari kedalaman 2,4 mm sampai pada kedalaman akhir 2,5 mm, sehingga waktu pengerjaan final current berlangsung 28,17 menit. Total pengerjaan benda diperkirakan selesai dalam 106,55 menit.

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

- Dari hasil percobaan, analisa dan pengolahan data yang dilakukan, didapatkan persamaan regresi untuk menentukan kekasaran permukaan rata-rata $R_a = 0,5424 + 0,698 I$, kekasaran jarak puncak-lembah rata-rata $R_z = 5,73 + 3,418 I$ dan lama waktu proses $t = 10^{3,164 - 0,4714 I}$. Persamaan regresi kekasaran permukaan rata-rata digunakan untuk mencari arus akhir (*final current*) untuk mendapatkan kekasaran permukaan akhir yang diinginkan. Persamaan regresi kekasaran permukaan puncak-lembah rata-rata digunakan untuk mencari titik pergantian arus awal. Persamaan regresi lama waktu proses digunakan untuk mencari estimasi lama waktu proses pengerjaan dengan input arus awal dan arus akhir.
- Dari hasil yang didapatkan dari pengerjaan contoh kasus yang telah dilakukan, didapatkan dengan menggunakan *initial current* yang tepat dapat menghasilkan lama waktu proses yang lebih singkat. Hal ini dapat dilihat dari hasil perhitungan dengan parameter yang sama namun kuat arus pada initial current yang berbeda yaitu 5 A dan 3,5 A menghasilkan waktu yang berbeda dengan hasil

kekasaran permukaan yang sama. Total lama waktu pengerjaan yang menggunakan *initial current* 5 A menghasilkan 43,55 menit sedangkan dengan *initial current* 3,5 A menghasilkan 106,55 menit.

Saran

1. Melakukan verifikasi terhadap hasil percobaan pada mesin EDM karena hasil dari penelitian ini belum sempat diverifikasi ketepatannya pada aplikasi nyata.
2. Mengatur letak pengerjaan pada sampel untuk lebih ke arah tepi. Hal ini perlu dilakukan untuk memastikan semua sensor surface roughness tester dapat menjangkau permukaan hasil pengerjaan

5. Refrensi

1. Mascaraque-Ramirez, C., & Franco, P. (2015). Experimental Study of Surface Finish During Electro-Discharge Machining of Stainless Steel. *Procedia Engineering*, 132, 679-685. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.547>
2. K. (1992). *System Dynamics, first edition*. Prentice-Hall, New Jersey.
3. Rao, G. K. M., Rangajanardhaa, G., Rao, D. H., & Rao, M. S. (2009). Development of hybrid model and optimization of surface roughness in electric discharge machining using artificial neural networks and genetic algorithm. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(3), 1512-1520. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.04.003>
4. Aczel, A., & Sounderpandian, J. (2008). *Complete Business Statistics with Student CD*: McGraw-Hill Companies, Incorporated.
5. Bagiasna, K. (1991). *Proses-Proses Non Konvensional: Teknik Mesin ITB*.
6. Boboulos, M. A. (2012). *Manufacturing Processes and Materials: Exercise*. Retrieved Maret 18, 2017 from <http://bookboon.com/en/manufacturing-processes-and-materials-exercises-ebook>
7. Guitrau, E. B. (1997). *The EDM Handbook*: Hanser Gardner Publications.
8. Jameson, E. C. (2001). *Electrical Discharge Machining*: Society of Manufacturing Engineers.
9. Japanese Industrial Standards Committee. (2001). *Geometric characteristics specification (GPS) of product - Surface properties: Contour curve method - Terms, definitions and surface texture parameters (JIS B 0601)*. Retrieved from <http://files.engineering.com/download.aspx?folder=1d149e35-945a-4839-9ef3-3162af3752f4&file=Binder2.pdf>
10. Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2010). *Manufacturing Engineering and Technology*: Prentice Hall.
11. Montgomery, D. C. (2012). *Design and Analysis of Experiments, 8th Edition*: John Wiley & Sons, Incorporated.
12. Sommer, C., & Sommer, S. (2005). *Complete EDM Handbook*: Advance Publishing, Incorporated.