

## Otomasi Proses *Electro-Discharge Machining* (EDM) Menuju Peningkatan Portabilitas dan Integrasi Proses Manufaktur

Andi Sudiarso<sup>1,\*</sup>, Muslim Mahardika<sup>1</sup>, Dadid S. Putro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik,  
Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta, Indonesia 55281  
E-mail: a.sudiarso@ugm.ac.id

### Abstrak

Saat ini, sistem kendali manual mulai digantikan dengan sistem kendali otomatis yang diharapkan akan menambah efisiensi dari permesinan. Salah satu sistem kendali otomatis yang lazim digunakan secara luas di dunia industri adalah sistem kendali berbasis *Programmable Logic Controllers* (PLC). Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang sistem kendali otomatis berbasis PLC pada proses permesinan *Electro-Discharge Machining* (EDM), sehingga EDM dapat beroperasi secara baik, dapat berfungsi secara *portable*, dan memungkinkan integrasi dengan proses permesinan yang lain.

Penelitian ini diawali dengan perancangan dan pembuatan sistem kendali untuk mesin EDM menggunakan PLC. Tahapan berikutnya adalah pengujian. Benda kerja yang digunakan adalah *aluminium 1100* dan *stainless steel 204*, sedangkan elektroda menggunakan bahan kuningan. Selanjutnya, dilakukan pengujian unjuk kerja sistem kendali untuk proses permesinan EDM, yang meliputi MRR, *electrode wear* (EW), dan *overcut*.

Pada penelitian ini telah berhasil dirancang sistem kendali otomatis berbasis PLC pada proses EDM. Hasil MRR pada *aluminium* yang dapat diperoleh adalah sebesar  $3,93 \times 10^{-5}$  g/s sedangkan MRR *stainless steel* adalah sebesar  $3,89 \times 10^{-5}$  g/s. Hasil EW *aluminium* adalah  $1,11 \times 10^{-5}$  g/s, yang lebih kecil dari pada EW *stainless steel* sebesar  $4,80 \times 10^{-5}$  g/s. Hasil perhitungan *overcut* pada *aluminium* sebesar 0,59 mm, sedangkan *overcut* pada *stainless steel* adalah 0,13 mm. Hasil perhitungan MRR, EW dan *overcut* tersebut telah menunjukkan bahwa sistem kendali berbasis PLC telah dapat digunakan dengan baik untuk permesinan EDM. Selanjutnya, proses pengendalian EDM berbasis PLC ini dapat diintegrasikan dengan permesinan yang lain.

**Keywords:** *otomasi proses, electro-discharge machining, material remove rate, electrode wear, overcut*

### Pendahuluan

Salah satu sistem kendali otomatis yang lazim digunakan secara luas di dunia industri adalah sistem kendali berbasis *Programmable Logic Controllers* (PLC) atau bisa disebut juga *programmable controllers*. PLC adalah sirkuit yang terintegrasi untuk melakukan fungsi kendali. PLC mampu menyimpan instruksi, seperti *sequencing*, *timing*, menghitung, aritmatika, manipulasi data, dan komunikasi, untuk mengontrol mesin dan proses. PLC pertama digunakan pada tahun 1968 oleh Divisi *Hydramatic General Motors Corporation*. Tujuan utamanya adalah untuk mengeliminasi tingginya biaya produksi sebagai akibat dari penggunaan sistem kendali *relay* yang tidak efektif. Spesifikasi yang dibutuhkan adalah mampu bertahan di lingkungan industri, mudah untuk diprogram dan dirawat oleh teknisi dan insinyur pabrik, dan dapat digunakan kembali. Setelah mengalami tahap identifikasi kriteria desain, akhirnya implementasi *programmable controller* tersebut dapat tercapai pada tahun 1969. Sejak saat itu, PLC

mengalami perkembangan yang signifikan (Bryan dan Bryan, 1997).

Saat ini, PLC tidak hanya sebagai pengganti *relay* yang fungsi utamanya melakukan operasi secara berurutan. Namun, mampu berkomunikasi dengan sistem kendali lain, dapat menyediakan laporan produksi, mampu melakukan penjadwalan produksi, dan mendiagnosa kegagalan yang dialami oleh suatu mesin atau proses produksi (Bryan dan Bryan, 1997). Oleh karena itu, PLC merupakan komponen yang sangat penting untuk meningkatkan kualitas dan produktifitas.

Dalam penelitian ini, PLC akan digunakan untuk mengendalikan proses permesinan pada *Electro-Discharge Machining* (EDM) yang telah dikembangkan di Laboratorium Proses dan Sistem Produksi, Jurusan Teknik Mesin dan Industri UGM. Sistem kendali yang telah ada sebelumnya adalah sistem kendali berbasis komputer.

### Metode Penelitian

Elektroda yang digunakan terbuat dari kuningan

berbentuk *rod* dengan ukuran panjang 10 cm dan diameter 2 mm. Pemilihan kuningan untuk elektroda karena kuningan merupakan salah satu bahan yang paling umum digunakan untuk *High Speed Small Hole Machines* (Kern, 2008). Benda kerja yang digunakan terbuat dari *stainless steel* dan *aluminium* dengan bentuk persegi panjang berukuran 2 cm x 5 cm dengan ketebalan 1 mm. Larutan dielektrik menggunakan kerosene atau minyak tanah.

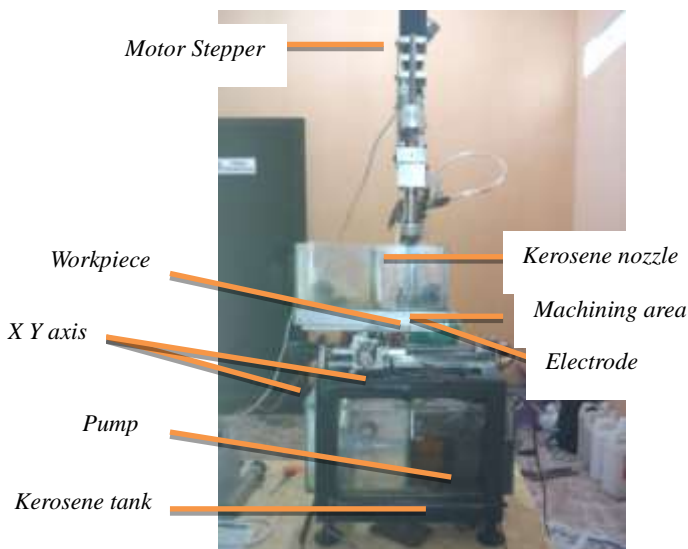
Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. PLC OMRON tipe ZEN 10C1DR-D-V2 dan *expansion unit* seperti yang terlihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** PLC OMRON tipe ZEN dan *expansion unit*

2. Satu buah mesin *Electrodischarge Machining (EDM)* seperti yang terlihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** *Electro-Discharge Machining (EDM) portable*

Selain itu, terdapat lima buah *power supply* yaitu DC 12V, DC 3V, gelombang kotak 3V, *power supply* untuk permesinan, dan penggerak *motor stepper*, gunting *metal* untuk memotong benda kerja, satu set *tools*, *stopwatch* untuk menghitung waktu selama permesinan, alat-alat pengukuran seperti

penggaris, *multimeter*, dan *micrometer*, serta timbangan *digital Sartorius*.

Pengambilan data dilakukan ketika program sudah selesai dirancang. Prosedur pengambilan data diawali dengan menyiapkan kerosene sebagai larutan dielektrik. Kerosene yang digunakan adalah sebanyak 8 liter. Kerosene ini kemudian dimasukkan ke bak penampungan. Selanjutnya, meja permesinan diatur dengan menggerakkan sumbu X dan Y sehingga meja permesinan berada pada posisi yang tepat.

Setelah meja permesinan berada di posisi yang tepat maka benda kerja dan elektroda dipasang. Benda kerja dipasang dengan mur dan baut ke pencekam. Selanjutnya, elektroda kuningan dipasang ke pencekam di sumbu Z. Elektroda ini dipastikan lurus terhadap sumbu Z dan tegak lurus terhadap benda kerja.

Setelah benda kerja dan elektroda berada di posisi yang baik, sambungkan *multimeter* ke elektroda dan benda kerja dan pilih konektivitas yang akan digunakan. Setelah itu, *amperemeter* disambungkan secara seri pada *power supply* mesin dan benda kerja. Kemudian program diaktifkan. Sumbu Z akan bergerak dari jarak 50 cm sampai jarak 0,5 mm. Ketika jarak *initial gap* terbentuk maka pompa fluida dinyalakan untuk memompakan kerosene ke dalam bak penampungan sampai benda kerja terbenam dan stabil. *Nozzle* juga diarahkan tepat ke arah pemakanan.

Proses permesinan dihitung waktunya dari mulai pertama kali *spark* keluar sampai proses permesinan selesai. Proses permesinan ini berakhir ketika sumbu Z naik kembali ke posisi semula. Selama pengujian dicatat lama waktu permesinan dan dilakukan pengukuran benda kerja sebelum dan setelah selesai permesinan.

Pada penelitian ini akan diukur *MRR (Material Removal Rate)*, *EW (Electrode Wear)*, dan *overcut*. Cara penghitungannya dijelaskan sebagai berikut.

#### 1. *Material Removal Rate (MRR)*

Pengukuran *MRR* dilakukan dengan melakukan penimbangan benda kerja sebelum dan sesudah permesinan menggunakan timbangan *digital Sartorius*. Selisih antara berat keduanya kemudian dibagi dengan waktu permesinan. Penghitungan *MRR* dilakukan dengan Persamaan 1 berikut:

$$MRR = \frac{m_0 - m_n}{t} = \frac{\Delta m}{t} \quad (1)$$

dengan:

*MRR* : *material removal rate* (g/s),

$m_0$  : massa benda kerja sebelum permesinan (g)

$m_n$  : massa benda kerja setelah permesinan (g),

$\Delta m$  : selisih massa benda kerja sebelum dan setelah permesinan (g), dan

$t$  : waktu permesinan (s).

### 2. Electrode Wear (EW)

Penghitungan *electrode wear* (EW) dilakukan untuk mengetahui keausan elektroda selama proses permesinan yaitu massa yang tererosi dalam satuan waktu. Penghitungan EW dilakukan dengan Persamaan 2 berikut:

$$EW = \frac{W_0 - W_1}{t} \quad (2)$$

dengan:

- EW : *electrode wear* (g/s)
- $w_0$  : massa elektroda sebelum permesinan (g)
- $w_1$  : massa elektroda setelah permesinan (g)

### 3. Overcut

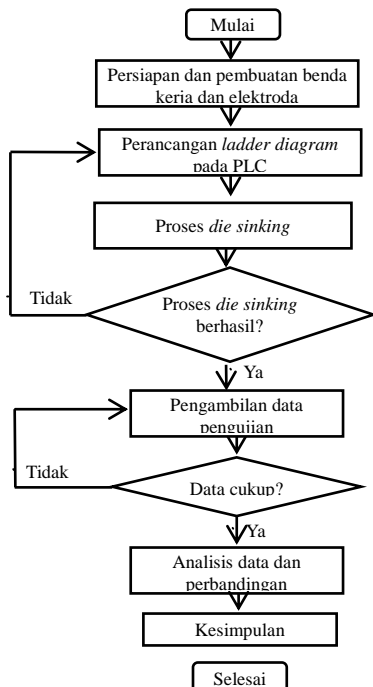
Penghitungan *overcut* dilakukan dengan menghitung diameter lubang hasil permesinan menggunakan *digital caliper* kemudian dikurangi diameter elektroda yang digunakan. Penghitungan *overcut* dilakukan dengan Persamaan 3 berikut:

$$overcut = d_w - d_e \quad (3)$$

dengan:

- overcut*: *overcut* (mm)
- $d_w$  : diameter lubang pada benda kerja (mm)
- $d_e$  : diameter elektroda (mm)

Penelitian ini dibagi dalam tahapan-tahapan seperti terlihat pada Gambar 3.

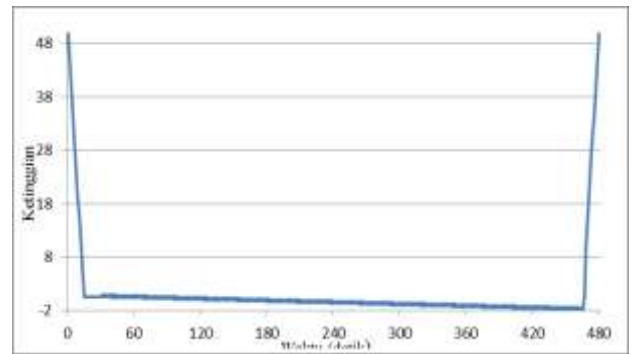


Gambar 3. Diagram alir penelitian

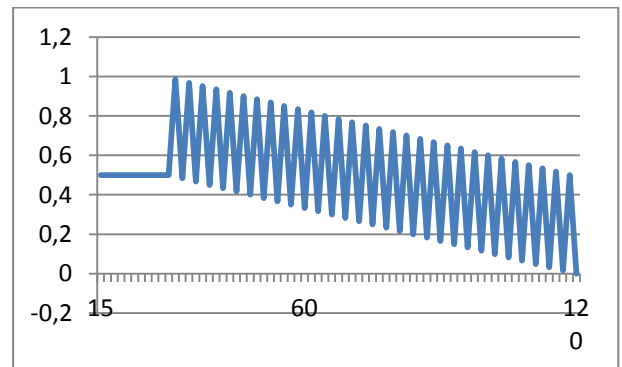
### Hasil dan Pembahasan

Gambar 4 menunjukkan grafik ilustrasi pergerakan sumbu Z terhadap waktu terhadap waktu selama proses EDM pada *aluminium*

menggunakan tegangan 50 V. Gambar 5 adalah grafik pergerakan pada detik 15 - 120 untuk menunjukkan gerakan naik turun sumbu Z dengan lebih jelas.



Gambar 4. Pergerakan (trajectory) elektroda pada permesinan *aluminium*



Gambar 5. Grafik pergerakan elektroda pada permesinan *aluminium* (detik 15 – 120)

#### 1. Perhitungan MRR

Tabel 1 berikut berisi hasil perhitungan MRR pada *aluminium 1100* menggunakan counter 150, tegangan sebesar 50 V,  $t_{naik}$  1,45 detik, dan  $t_{turun}$  1,50 detik berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan.

Tabel 1. MRR pada *aluminium 1100* dengan tegangan 50V

No	$m_0$ (g)	$m_1$ (g)	t (s)	MRR ( $10^{-5}$ g/s)	Rata-rata MRR ( $10^{-5}$ g/s)
1	3,270	3,252	450	4,00	3,93
2	3,282	3,264	450	4,00	
3	3,153	3,136	450	3,78	

Tabel 2 berikut merupakan hasil perhitungan MRR pada *stainless steel 204* menggunakan counter 275, tegangan 50 V,  $t_{naik}$  1,45 detik dan  $t_{turun}$  1,50 detik berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan.

Tabel 2. MRR pada *stainless steel 204* dengan tegangan 50 V

No	m <sub>0</sub> (g)	m <sub>1</sub> (g)	t (s)	MRR (10 <sup>-5</sup> g/s)	Rata-rata MRR (10 <sup>-5</sup> g/s)
1	10,350	10,315	875	4,00	3,89
2	9,350	9,316	875	3,89	
3	9,373	9,340	875	3,77	

Hasil kali konduktivitas panas ( $\lambda$ ), titik lebur ( $\theta$ ), resistivitas listrik ( $\rho$ ) untuk *aluminium* adalah 0,0045 W $\Omega$ , untuk *stainless steel* nilainya sebesar 0,0195 W $\Omega$ . Hasil ini menunjukkan bahwa nilai perkalian  $\lambda\theta\rho$  *aluminium* lebih kecil dari *stainless steel* yang membuktikan bahwa *aluminium* lebih mudah diproses menggunakan EDM dan MRR-nya lebih tinggi dari pada *stainless steel*.

## 2.. Perhitungan EW

Tabel 3 berikut adalah hasil perhitungan EW pada *aluminium 1100* menggunakan counter 150, tegangan sebesar 50 V, t<sub>naik</sub> 1,45 detik dan t<sub>turun</sub> 1,50 detik berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan.

**Tabel 3.**EW pada *aluminium 110* dengan tegangan 50 V

No	W <sub>0</sub> (g)	W <sub>1</sub> (g)	t (s)	EW (10 <sup>-5</sup> g/s)	Rata-rata EW 10 <sup>-5</sup> g/s)
1	2,621	2,617	450	0,89	1,11
2	2,595	2,589	450	1,33	
3	2,484	2,479	450	1,11	

Tabel 4 berikut berisi hasil perhitungan EW pada *stainless steel 204* menggunakan counter 275, tegangan 50 V, t<sub>naik</sub> 1,45 detik dan t<sub>turun</sub> 1,50 detik berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan.

**Tabel 4.**EW pada *stainless steel 204* dengan tegangan 50 V

No	W <sub>0</sub> (g)	W <sub>1</sub> (g)	t (s)	EW (10 <sup>-5</sup> g/s)	Rata-rata EW (10 <sup>-5</sup> g/s)
1	2,517	2,477	875	4,57	4,80
2	2,644	2,600	875	5,03	
3	2,517	2,475	875	4,80	

Hasil ini sesuai dengan penelitian Janmanee dan Mutamara (2010) yang menyatakan bahwa sifat benda kerja mempengaruhi keausan elektroda yang digunakan. Menggunakan tegangan yang ditentukan tetap, material dengan MRR lebih tinggi menghasilkan EW yang lebih kecil. Oleh karena MRR *aluminium* lebih besar dari pada *stainless steel*, maka EW *aluminium* lebih kecil dari pada EW *stainless steel*. Pada *stainless steel*, hasil EW lebih besar dari MRR karena hasil kali  $\lambda\theta\rho$  kuningan lebih kecil dari pada *stainless steel*. Hal itu menyebabkan kuningan lebih tererosi pada saat permesinan dari

pada *stainless steel*. Hasil EW pada *aluminium* dan *stainless steel* dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** EW pada *aluminium* (kiri) dan *stainless steel* (kanan)

## 3. Perhitungan Overcut

Tabel 5 berikut hasil hasil perhitungan *overcut* pada *aluminium 1100* menggunakan counter 150, tegangan sebesar 50 V, t<sub>naik</sub> 1,45 detik dan t<sub>turun</sub> 1,50 detik berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan.

**Tabel 5.**Overcut pada *aluminium 1100* dengan tegangan 50 V

No	d <sub>1</sub> (mm)	d <sub>0</sub> (mm)	d <sub>1</sub> -d <sub>0</sub>	Rata-rata d (mm)
1	2,58	2	0,58	0,59
2	2,61	2	0,61	
3	2,57	2	0,57	

Tabel 6 berikut berisi hasil perhitungan EW pada *stainless steel 204* menggunakan counter 275, tegangan 50 V, t<sub>naik</sub> 1,45 detik dan t<sub>turun</sub> 1,50 detik berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan.

**Tabel 6.**Overcut Pada *stainless steel 204* dengan tegangan 50 V

No	d <sub>1</sub> (mm)	d <sub>0</sub> (mm)	d <sub>1</sub> -d <sub>0</sub>	Rata-rata d (mm)
1	2,09	2	0,09	0,13
2	2,11	2	0,11	
3	2,18	2	0,18	

Hasil ini sesuai dengan penelitian Widiarto (2008) bahwa sifat benda kerja mempengaruhi mempengaruhi *overcut* pada benda kerja terutama titik leburnya di mana semakin rendah titik lebur benda kerja maka *overcut* yang terjadi semakin besar. Titik lebur pada *aluminium* adalah 934 K dan titik lebur *stainless steel* adalah 2042 K. Oleh karena titik lebur *aluminium* lebih kecil dari pada *stainless steel*, maka *overcut* pada *aluminium* yang terjadi lebih besar dari pada *stainless steel*. Hasil *overcut* pada *aluminium* dan *stainless steel* dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Overcut pada aluminium (kiri) dan stainless steel (kanan)

### Kesimpulan

Pada penelitian ini telah berhasil dirancang sistem kendali otomatis berbasis PLC untuk proses EDM. Penggunaan PLC mendukung portabilitas mesin EDM dan memungkinkan integrasi dengan proses permesinan yang lain. Sistem yang dirancang telah diuji-cobakan untuk mengendalikan proses permesinan aluminium 1100 dan stainless steel 204 pada tegangan 50V.

Hasil MRR pada aluminium sebesar  $3,93 \times 10^{-5}$  g/s sedangkan MRR stainless steel adalah sebesar  $3,89 \times 10^{-5}$  g/s, perhitungan ini menunjukkan bahwa MRR aluminium sedikit lebih besar dibandingkan MRR stainless steel, sedangkan hasil EW aluminium adalah  $1,11 \times 10^{-5}$  g/s, yang lebih kecil dari pada EW stainless steel sebesar  $4,80 \times 10^{-5}$  g/s, diperoleh EW aluminium lebih kecil dari pada EW stainless steel. Hasil perhitungan overcut pada aluminium sebesar 0,59 mm, sedangkan overcut pada stainless steel adalah 0,13 mm, overcut pada aluminium yang terjadi lebih besar dari pada stainless steel. Hasil perolehan MRR, EW dan overcut tersebut telah sejalan dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Hal ini juga membuktikan bahwa sistem kendali berbasis PLC telah dapat digunakan dengan baik untuk permesinan secara portable

### Referensi

- Bryan, L. & Bryan, E. *Programmable Controllers Theory and Implementation*, Second Edition. Georgia: Industrial Text Company (1997)
- Kern, R. *Sinker Electrode Material Selection*. EDM Today: Techtips (2008)
- Janmanee, P. & Muttamara, N. 2010. Performance of Difference Electrode Materials in Electrical Discharge Machining of Tungsten Carbide. *Energy Research Journal*, Vol. 1 (2), pp. 87-90 (2010)
- Widiarto. *Teknik Permesinan Jilid II*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional (2008)