

# ANALISIS PENGARUH ARUS LISTRIK DAN *PULSE ON-TIME* DALAM *ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING* TERHADAP KEKERASAN PERMUKAAN BAJA SKD11 DAN SUJ2 MENGGUNAKAN METODE PERHITUNGAN ANOVA

Rofiroh<sup>1</sup>, Ali Rosyidin<sup>2</sup>, Ahmad Iskandar<sup>3</sup>, Marlindo<sup>3</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Tangerang  
Jl. Perintis Kemerdekaan I/33 Cikokol-Tangerang  
E-mail: <sup>1</sup>marlindo090800@gmail.com

Submitted Date: Agustus 08, 2024

Reviewed Date: Agustus 28, 2024

Revised Date: Agustus 29, 2024

Accepted Date: September 1, 2024

## Abstract

*Electrical Discharge Machining (EDM) is a non-conventional machining method that involves utilizing heat energy generated from an electric spark between the electrode and the workpiece. The purpose of this study was to analyze the effect of changes in electric current and pulse on-time on the surface hardness of SKD11 and SUJ2 steel in the EDM machining process. In this study more focused on the comparison of two types of steel, namely steel SKD11 and SUJ2. The SKD11 steel is known for its high hardness which is very suitable for the manufacture of moulds, precision cutting tools and other industrial tools, while the SUJ2 steel is characterized by its outstanding wear resistance for the manufacture of bearings and machine components working under conditions of friction and heavy loads. The machining process uses changes in electric current parameters with variations in values of 4A, 7A and 10A and pulse on-time values of 10 $\mu$ s, 20 $\mu$ s, 30 $\mu$ s, 40 $\mu$ s, 50 $\mu$ s, 60 $\mu$ s, 70 $\mu$ s, 80 $\mu$ s, 90 $\mu$ s and 100 $\mu$ s. Hardness testing with the Rockwell Hardness Tester at three different points and using the HRB test unit. The smallest SKD11 steel surface hardness value obtained at 4A electric current with 10 $\mu$ s pulse on-time was 55.3 HRB and the largest at 10A electric current with 100 $\mu$ s pulse on-time was 72 HRB. Meanwhile, the smallest SUJ2 steel surface hardness value obtained at 4A electric current with 10 $\mu$ s pulse on-time was 61.66 HRB and the largest at 10A electric current with 100 $\mu$ s pulse on-time was 80 HRB.*

**Keywords:** *Electrical Discharge Machining (EDM), Electric Current, Pulse On-Time, Steel SKD11 and SUJ2*

## Abstrak

*Electrical Discharge Machining (EDM) adalah metode permesinan non-konvensional yang melibatkan pemanfaatan energi panas yang dihasilkan dari percikan listrik antara elektroda dan benda kerja. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh perubahan arus listrik dan pulse on-time terhadap kekerasan permukaan Baja SKD11 dan SUJ2 pada proses machining EDM. Dalam penelitian ini lebih difokuskan pada perbandingan dua jenis baja, yaitu Baja SKD11 dan SUJ2. Adapun Baja SKD11 dikenal dengan kekerasan tinggi yang sangat cocok untuk pembuatan cetakan, alat potong presisi dan perkakas industri lainnya, sedangkan Baja SUJ2 ditandai dengan ketahanan aus yang luar biasa untuk pembuatan bantalan serta komponen mesin yang bekerja dalam kondisi gesekan dan beban berat. Proses permesinan menggunakan perubahan parameter arus listrik dengan variasi nilai 4A, 7A dan 10A serta nilai pulse on-time sebesar 10 $\mu$ s, 20 $\mu$ s, 30 $\mu$ s, 40 $\mu$ s, 50 $\mu$ s, 60 $\mu$ s, 70 $\mu$ s, 80 $\mu$ s, 90 $\mu$ s dan 100 $\mu$ s. Pengujian kekerasan dengan Rockwell Hardness Tester di tiga titik berbeda dan menggunakan satuan uji HRB. Nilai kekerasan permukaan Baja SKD11 terkecil terdapat pada arus listrik 4A dengan pulse on-time 10 $\mu$ s yaitu 55,3 HRB dan terbesar pada arus listrik 10A dengan pulse on-time 100 $\mu$ s yaitu 72 HRB. Sedangkan nilai kekerasan permukaan Baja SUJ2 terkecil terdapat pada arus listrik 4A dengan pulse on-time 10 $\mu$ s yaitu 61,66 HRB dan terbesar pada arus listrik 10A dengan pulse on-time 100 $\mu$ s yaitu 80 HRB.*

**Kata Kunci:** *Electrical Discharge Machining (EDM), Arus Listrik, Pulse On-Time, Baja SKD11 dan SUJ2*

## I. Pendahuluan

*Electrical Discharge Machining (EDM)* telah menjadi salah satu metode permesinan non-konvensional yang populer. Metode ini melibatkan tiga jenis proses utama: *sinking*, *cutting*, dan *grinding* yang

berdasarkan pada prinsip percikan listrik antara elektroda dan benda kerja untuk menghasilkan energi panas. EDM *sinking*, khususnya, memiliki keunggulan dalam pembuatan cetakan dan diterapkan secara luas di industri otomotif, penerbangan, dan

alat medis (Ho & Newman, 2003). Selanjutnya, Raut & Shinde (2007) menyatakan bahwa EDM dipilih karena mampu memproses produk dengan bentuk yang rumit dan membutuhkan tingkat akurasi yang tinggi.

Baja SKD11 dan SUJ2, dengan elastisitas yang baik dan kemampuan diproses dengan EDM *sinking*, menjadi pilihan material yang efisien dan andal di berbagai industri (Jayakumar & Leon, 2014). Sebagaimana diungkapkan oleh Quediri dkk (2020), proses permesinan EDM *sinking* tidak memerlukan gaya deformasi, sehingga memungkinkan pembuatan produk dengan desain yang rumit dan tingkat ketelitian yang tinggi.

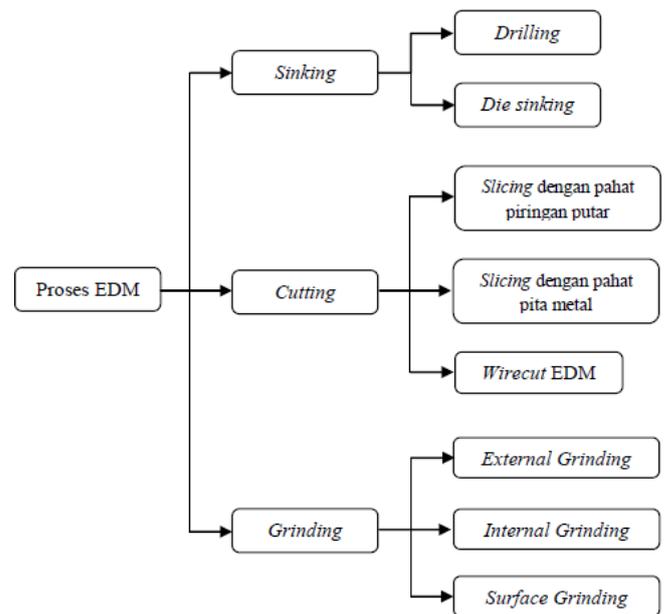
Kualitas produk dalam EDM *sinking* dipengaruhi oleh parameter seperti arus listrik dan *pulse on-time*. Peningkatan arus listrik dan *pulse on-time* dapat menghasilkan suhu yang lebih tinggi dan mengubah kekerasan permukaan, karena pengaruh energi listrik yang dihasilkan. Menurut El Hofy (2005), peningkatan suhu dalam proses permesinan akan menyebabkan perlakuan panas pada benda kerja. Namun, suhu tersebut cepat terkendali oleh konduktivitas benda kerja dan cairan dielektrik. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai pengaruh parameter ini akan memberikan wawasan penting dalam meningkatkan kualitas produk hasil proses EDM *sinking*.

Dalam proses EDM *sinking*, arus listrik berperan dalam pembentukan bunga api listrik pada elektroda dan juga dalam menciptakan energi listrik selama proses permesinan.

Selain itu semakin lama durasi *pulse on-time*, maka bunga api listrik akan tercipta dalam waktu yang lebih panjang. Hal ini akan memengaruhi durasi pemanasan yang diberikan oleh kenaikan temperatur pada benda kerja. Ketika *pulse on-time* berhenti, cairan dielektrik akan cepat mendinginkan benda kerja hingga *pulse on-time* berikutnya. Serangkaian peristiwa tersebut

akan menyebabkan perubahan kekerasan pada benda kerja.

Umumnya proses pengerjaan material dengan permesinan EDM dibagi dalam tiga kategori utama, yaitu proses *sinking*, proses *cutting* dan proses *grinding*. Klasifikasi proses EDM ditunjukkan pada gambar dibawah ini (Pandey & Shan, 1980).



**Gambar 1.** Proses Permesinan EDM

Pembagian ketiga kategori tersebut didasarkan atas perbedaan jenis pahat yang digunakan (Pandey & Shan, 1980), yaitu:

- a. *Sinking*, mempunyai bentuk pahat negatif dari bentuk yang direncanakan pada benda kerja. Pahat melakukan gerak penetrasi ke benda kerja.
- b. *Cutting*, menggunakan pahat yang berbentuk antara lain plat, pita, kawat, atau piringan. Arah gerakan pahat tegak lurus terhadap benda kerja. Pahat yang berupa pita memotong benda kerja dengan arah melintang.
- c. *Grinding*, menggunakan pahat yang bentuknya serupa dengan pahat gerinda konvensional. Pahat ini juga berputar pada sumbunya selain melakukan gerakan pemakanan.

Dalam penelitian ini, perhatian lebih difokuskan pada perbandingan dua jenis baja, yaitu baja SKD11 dan SUJ2. Berikut

adalah gambaran baja SKD11 dan SUJ2 pada penelitian ini:



Gambar 2. Baja SKD11



Gambar 3. Baja SUJ2

Dengan karakteristik unggulnya, Baja SKD11 dan SUJ2 terus menjadi pilihan utama dalam industri. Berikut adalah *chemical composition* baja SKD11 dan SUJ2 yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 1. *Chemical Composition* SKD11

Elemen	Komposisi Kimia (% Berat)
Karbon (C)	1,40% - 1,60%
Silikon (Si)	0,30% - 0,60%
Mangan (Mn)	0,60% - 1,00%
Kromium (Cr)	11,00% - 13,00%
Vanadium (V)	0,80% - 1,20%

Tabel 2. *Chemical Composition* SUJ2

Elemen	Komposisi Kimia (% Berat)
Karbon (C)	0,95% - 1,10%
Silikon (Si)	0,15% - 0,35%
Mangan (Mn)	0,50% - 0,80%
Fosfor (P)	Maksimum 0,025%
Belerang (S)	Maksimum 0,025%

Karbon (C)	0,95% - 1,10%
Silikon (Si)	0,15% - 0,35%
Mangan (Mn)	0,50% - 0,80%
Fosfor (P)	Maksimum 0,025%
Belerang (S)	Maksimum 0,025%

Sementara itu dari spesimen yang telah dipelajari. Yaitu Baja SKD11 (D2) dikenal dengan kekerasan tinggi, yang membuatnya sangat cocok untuk pembuatan cetakan, alat potong presisi, dan perkakas industri lainnya. Sedangkan, baja SUJ2 ditandai dengan ketahanan aus yang luar biasa, menjadikannya pilihan ideal untuk pembuatan bantalan dan komponen mesin yang bekerja dalam kondisi gesekan dan beban berat.

Adapun proses pengerjaan material dalam penelitian ini menggunakan metode pengujian kekerasan penekanan *Brinell* dan *Rockwell*. *Brinell* berarti metode yang menggunakan bola baja keras dengan diameter (D) yang ditekan pada permukaan material selama 10-15 detik dengan pemberian beban (P) secara bertahap. Adapun untuk menghitung nilai kekerasan dalam pengujian *Brinell* menggunakan rumus berikut:

$$BHN = \frac{2P}{\pi(D-\sqrt{D^2-d^2})} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

BHN =Nilai kekerasan (kgf/mm<sup>2</sup>)

P =Beban uji (kgf)

D =Diameter indenter (mm)

d =Diameter deformasi pengujian (mm)

Selanjutnya *Rockwell* berarti metode yang menggunakan dua jenis penekan (indenter) berbeda, yaitu bola baja dan intan berbentuk kerucut (*Brale*) sebagai indenter untuk spesimen dengan kekerasan tinggi. Adapun untuk menghitung nilai kekerasan dalam pengujian *Rockwell* menggunakan rumus berikut:

$$HR = E - e \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

HR =Hardness rockwell

E =100, untuk indenter intan

E =130, untuk indenter bola

e =Kedalaman penetrasi permanen karena beban utama (*mayor*) per 0,002 mm atau

e =h/0,002

h =kedalaman penetrasi oleh beban utama setelah dilepas

## II. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental, dimana akan dilakukan pengamatan untuk memahami hubungan sebab-akibat dalam proses tertentu melalui eksperimen. Data yang diperoleh dari eksperimen akan menggambarkan bagaimana arus listrik dan *pulse on-time* mempengaruhi kekerasan permukaan pada proses EDM (*Electrical Discharge Machining*) dalam pemotongan Baja SKD11 dan SUJ2.

Terdapat 2 alat dan 3 bahan guna melakukan uji coba, yaitu mesin EDM Makino EDNC65, Mesin Digital *Rockwell Hardness Tester* 600D, Elektroda Tembaga, serta dua spesimen yaitu Baja SKD11 dan SUJ2.

Penelitian ini menggunakan uji Anova satu arah (*One way*), karena didasari oleh kebutuhan untuk mengevaluasi adanya perbedaan yang signifikan dalam tingkat kekerasan permukaan pada dua jenis baja, yaitu SKD11 dan SUJ2. Dengan menerapkan uji Anova satu arah (*one way*), bertujuan untuk mengidentifikasi apakah terdapat perbedaan yang statistik signifikan dalam hasil kekerasan permukaan antara kelompok-kelompok yang dibentuk oleh variasi faktor-faktor tersebut. Dalam penelitian ini, apabila hasil analisis menunjukkan perbedaan yang signifikan, implikasinya adalah faktor arus listrik dan *pulse on-time* memiliki pengaruh yang substansial terhadap sifat kekerasan permukaan pada kedua jenis baja yang diamati selama proses EDM. Adapun rumus

yang digunakan untuk melakukan perhitungan Anova sebagai berikut:

$$\bullet \text{ JKT} = \sum_{I=1}^k \sum_{j=1}^{n_1} X_{ij}^2 - \frac{X^2}{K_n} \dots\dots\dots (3)$$

$$\bullet \text{ JKK} = \sum_{I=1}^k \sum_{j=1}^{n_1} \frac{X_j^2}{K_n} - \frac{X^2}{K_n} \dots\dots\dots (4)$$

$$\bullet \text{ JKG} = \text{JKT} - \text{JKK} \dots\dots\dots (5)$$

$$\bullet \text{ KTK} = \text{JKK} / (k - 1) \dots\dots\dots (6)$$

$$\bullet \text{ KTG} = \text{JKG} / (n - k) \dots\dots\dots (7)$$

$$\bullet f_{\text{hitung}} = \text{KTK} / \text{KTG} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

JKT = jumlah kuadrat total

JKK = jumlah kuadrat kelompok

KTK = kuadrat tengah kelompok

KTG = kuadrat tengah galat

n = jumlah spesimen hitung

k = jumlah seluruh spesimen

j = nilai tetap

I = nilai tetap

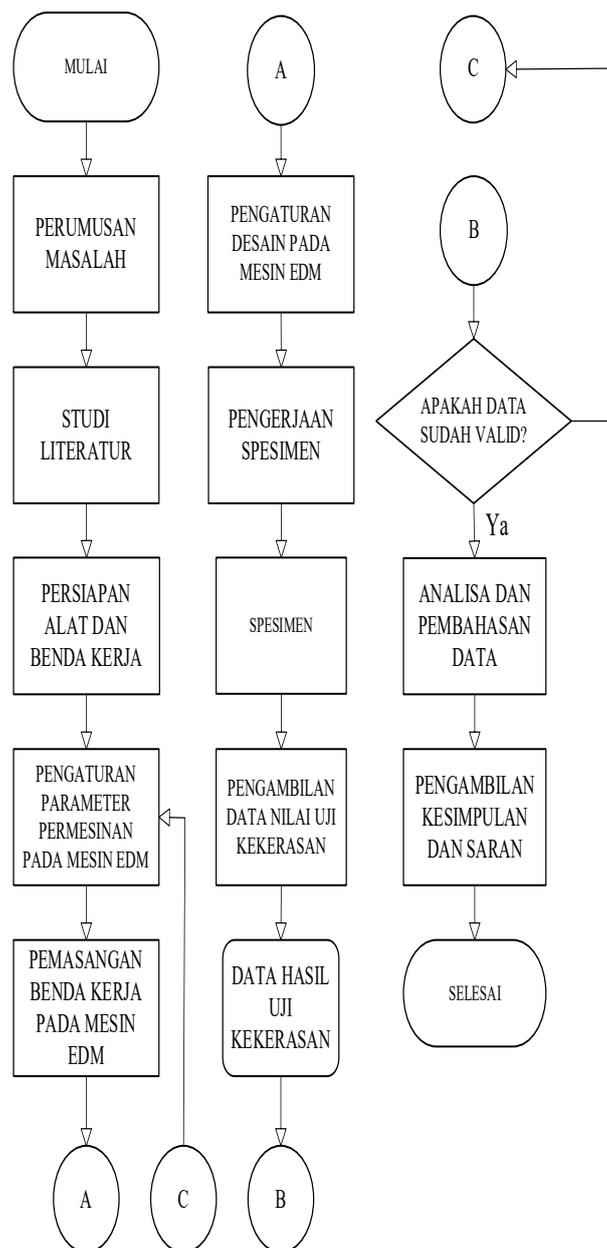
X = nilai pengulangan specimen

Penelitian ini dengan melakukan proses permesinan menggunakan mesin EDM (*Electrical Discharge Machining*) dimulai dengan mempersiapkan desain spesimen yang akan dikerjakan, serta menyiapkan elektroda yang sesuai. Selanjutnya, kami mengatur parameter permesinan sesuai dengan variabel yang telah ditentukan sebelumnya, termasuk mengatur posisi elektroda hingga tegak lurus dengan benda kerja menggunakan *feeler gauge*. Setelah itu, benda kerja ditempatkan pada cekam mesin EDM dengan hati-hati, dan elektroda dipasang pada *tool holder* mesin EDM sinking. Selama proses berlangsung, kami juga mengatur parameter permesinan seperti arus listrik dan *pulse on-time* yang disesuaikan dengan jenis material dan ketebalan benda kerja. Terakhir, desain spesimen dimasukkan ke dalam mesin EDM untuk diproses sesuai dengan parameter yang telah diatur. Dengan langkah-langkah tersebut, proses permesinan dengan mesin EDM dapat berjalan dengan efisien dan menghasilkan produk dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Prosedur pengujian penggunaan alat *Hardness Tester Rockwell* dimulai dengan meletakkan spesimen yang akan diuji pada cekam mesin uji kekerasan dengan hati-hati, memastikan posisi yang stabil sesuai dengan pengaturan alat. Setelah itu, hidupkan mesin uji kekerasan dengan menekan tombol daya dan tunggu hingga mesin siap digunakan. Langkah berikutnya adalah memulai pengujian dengan menekan tombol "Start" pada mesin. Selama proses pengujian berlangsung, alat akan melakukan pengukuran kekerasan pada spesimen.

Setelah selesai, nilai hasil pengujian kekerasan akan muncul pada layar mesin. Sebelum menguji spesimen berikutnya, pastikan untuk membersihkan spesimen dan mengatur ulang posisinya.

Diagram alir penelitian adalah diagram yang memperlihatkan langkah-langkah dalam suatu proses penelitian yang dilalui oleh peneliti sehingga dapat mengumpulkan data yang diperlukan dalam penelitian ini. Berikut merupakan diagram alir dalam penelitian ini:



**Gambar 4. Diagram Alir Penelitian**

Mulyadi & Agus (2016) melakukan penelitian dengan judul "Optimalisasi Hasil Proses *Wire-Cut* EDM dengan Metode *Principal Component Analysis* (PCA)". Penelitian ini bertujuan untuk menguji hasil maksimal yang dapat dicapai dari proses permesinan *Wire-Cut* EDM pada material SKD-11 (HRC 60) dengan panjang 15 mm menggunakan optimasi *multipleresponse*.

Akkurt & Adnan (2017) telah melakukan penelitian berjudul "*The effect of cutting process onsur face microstructure and hardness of pure and Al 6061 aluminium alloy*". Penelitian ini menginvestigasi dampak berbagai metode pemotongan terhadap kekerasan permukaan keseluruhan dari aluminium 6061. Proses pemotongan yang menyebabkan pemberian panas berlebihan menghasilkan butiran yang lebih besar. Menurut Adi (2021:30) hipotesis adalah jawaban atau kesimpulan sementara terhadap suatu fenomena yang perlu dibuktikan atau diuji kebenarannya. Pembuktian hipotesis ini digunakan untuk membuktikan kebenaran yang dirumuskan peneliti yang bersangkutan.

Semakin besar arus listrik yang diberikan pada saat permesinan menggunakan EDM *sinking* maka temperatur pada celah antar benda kerja dan elektroda akan semakin tinggi serta semakin lama *pulse on-time*, maka durasi peningkatan temperatur yang dialami juga

semakin lama. Hal ini diiringi oleh pendinginan cairan dielektrik akan menimbulkan peningkatan nilai kekerasan pada benda kerja. Dengan demikian hipotesis dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

H0 : Masing-masing variabel bebas yang diberikan menghasilkan nilai kekerasan permukaan yang sama ( $\mu_1=\mu_2$ ).

H1 : Masing-masing variabel bebas yang diberikan menghasilkan nilai kekerasan permukaan yang berbeda ( $\mu_1\neq\mu_2$ ).

### III. Hasil dan Pembahasan

Terdapat 30 spesimen dalam penelitian ini, karena untuk memastikan hasil penelitian lebih akurat dan dapat diandalkan. Dalam analisis statistik ANOVA, jumlah sampel yang cukup besar mendukung analisis yang lebih kuat. Hal ini juga mengurangi ketidakpastian dalam hasil eksperimen, memungkinkan reproduksi yang lebih baik, dan memungkinkan penemuan pola yang lebih mudah

Berikut merupakan hasil dari perhitungan Anova terhadap kekerasan permukaan arus listrik 4A, 7A dan 10A serta dari *pulse on-time* 10  $\mu$ s, 20  $\mu$ s, 30  $\mu$ s, 40  $\mu$ s, 50  $\mu$ s, 60  $\mu$ s, 70  $\mu$ s, 80  $\mu$ s, 90  $\mu$ s dan 100  $\mu$ s untuk Baja SKD11 dan SUJ2.

**Tabel 3.** Perhitungan Anova kekerasan Permukaan Arus Listrik 4A Baja SKD11

SK	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel (0,05)
Kelompok	9	923,708	102,634	12316,1	3,350
Galat	20	0,167	0,0083		
Total	29	923,875			

**Tabel 4.** Perhitungan Anova kekerasan Permukaan Arus Listrik 7A Baja SKD11

SK	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel 0,05
Kelompok	9	926,412	102,935	9961,42	3,350
Galat	20	0,207	0,010		
Total	29	926,619			

**Tabel 5.** Perhitungan Anova kekerasan Permukaan Arus Listrik 10A Baja SKD11

SK	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F hitung	F tabel 0,05
Perlakuan	9	705,772	78,419	6534,93	3,350
Galat	20	0,240	0,012		
Total	29	706,012			

**Tabel 6.** Perhitungan Anova kekerasan Permukaan Arus Listrik 4A Baja SUJ2

SK	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F hitung	F Tabel 0,05
Kelompok	9	967,513	107,502	6084,99	3,350
Galat	20	0,353	0,0177		
Total	29	967,867			

**Tabel 7.** Perhitungan Anova kekerasan Permukaan Arus Listrik 7A Baja SUJ2

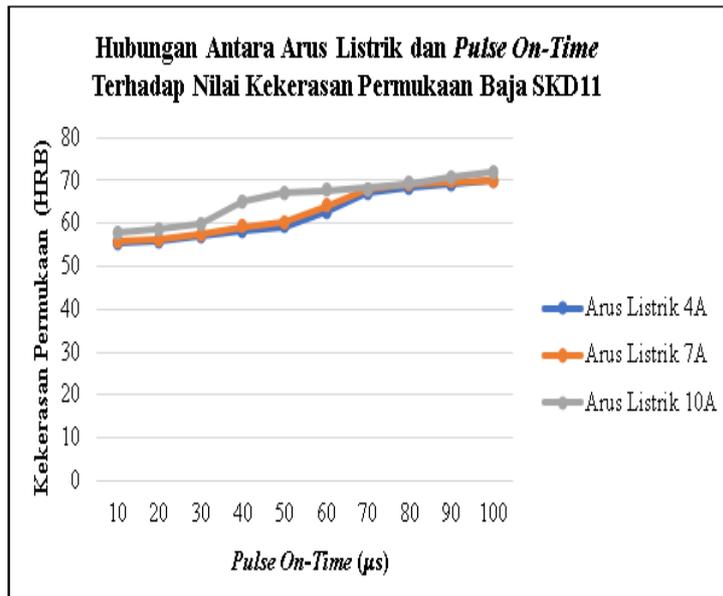
SK	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel 0,05
Kelompok	9	1100,845	122,316	6219,47	3,350
Galat	20	0,393	0,0197		
Total	29	1101,238			

**Tabel 8.** Perhitungan Anova kekerasan Permukaan Arus Listrik 10A Baja SUJ2

SK	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F hitung	F Tabel 0,05
Kelompok	9	800,133	88,904	3922,220	3,350
Galat	20	0,453	0,023		
Total	29	800,587			

Adapun hasil dari seluruh perhitungan *Analysis of variance* (Anova) menunjukkan bahwa nilai  $f_{hitung} > f_{tabel}$  artinya  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima. Hal ini menunjukkan bahwa arus listrik dan *pulse on-time* pada proses permesinan EDM *sinking* memiliki pengaruh pada kekerasan material baja SKD11 dan SUJ2.

Dalam penelitian ini dapat dilihat juga melalui grafik yang menghubungkan antara arus listrik dan *pulse on-time* terhadap kekerasan permukaan Baja SKD11 sebagai berikut:



**Gambar 5.** Grafik Hubungan Antara Arus Listrik (A) dan *Pulse On-Time* ( $\mu$ s) Terhadap Nilai Kekerasan Permukaan (HRB) Baja SKD11

Berdasarkan grafik diatas hubungan antara arus listrik dan *pulse on-time* terhadap nilai kekerasan permukaan baja SKD11, terlihat pada titik biru menunjukkan nilai kekerasan terkecil pada arus 4A dengan *pulse on-time* 10  $\mu$ s yaitu 55,3 HRB dan nilai kekerasan terbesar pada arus 10A dengan *pulse on-time* 100  $\mu$ s yaitu 69,9 HRB.

Pada titik merah menunjukkan nilai kekerasan terkecil pada arus 7A dengan *pulse on-time* 10  $\mu$ s yaitu 55,66 HRB dan nilai terbesar pada arus 10A dengan *pulse on-time* 100  $\mu$ s yaitu 70,06 HRB. Serta Pada titik abu-abu menunjukkan nilai kekerasan terkecil pada arus 10A dengan *pulse on-time* 10  $\mu$ s yaitu 57,96 HRB dan nilai kekerasan terbesar pada arus 10A dengan *pulse on-time* 100  $\mu$ s yaitu 72 HRB.

Pada penelitian Sagedistira (2012) “Studi pengaruh variasi arus proses pemesinan edm *sinking* terhadap kekerasan dan karakteristik struktur mikro material baja SKD11” menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai arus yang digunakan, semakin meningkat pula nilai kekerasannya. Hasil rata-rata tertinggi dari pengukuran kekerasan terlihat pada variasi arus 60 ampere untuk setiap lapisan yang dianalisis.

Selanjutnya dapat dilihat juga melalui grafik yang menghubungkan antara

arus listrik dan *pulse on-time* terhadap kekerasan permukaan Baja SUJ2 Gambar 6.

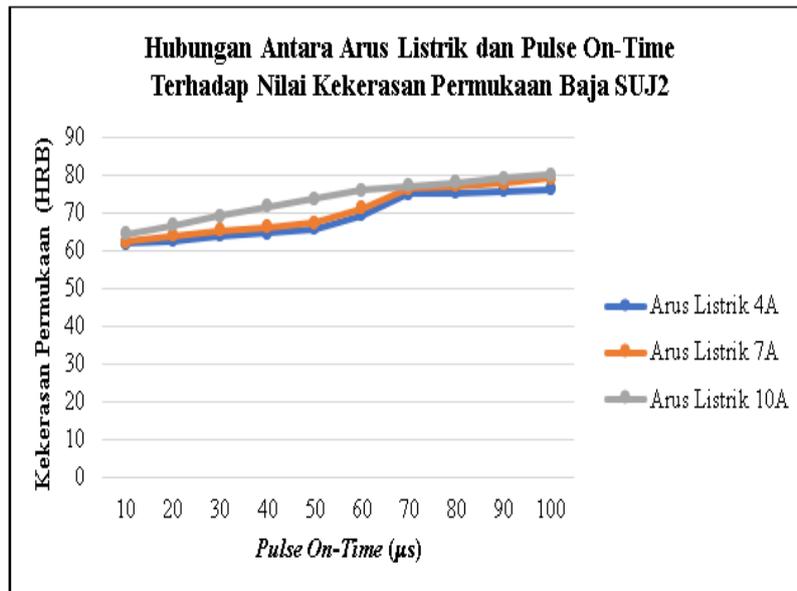
Berdasarkan grafik diatas hubungan antara arus listrik dan *pulse on-time* terhadap nilai kekerasan permukaan baja SUJ2, terlihat pada titik biru menunjukkan nilai kekerasan terkecil pada arus 4A dengan *pulse on-time* 10  $\mu$ s yaitu 61,66 HRB dan nilai kekerasan terbesar pada arus 10 ampere dengan *pulse on-time* 100  $\mu$ s yaitu 76,13 HRB.

Pada titik merah menunjukkan nilai kekerasan terkecil pada arus 7A dengan *pulse on-time* 10  $\mu$ s yaitu 62,3 HRB dan nilai kekerasan terbesar pada arus 10 ampere dengan *pulse on-time* 100  $\mu$ s yaitu 78,9 HRB. Pada titik abu-abu menunjukkan nilai kekerasan terkecil pada arus 10A dengan *pulse on-time* 10  $\mu$ s yaitu 64,3 HRB dan nilai kekerasan terbesar pada arus 10A dengan *pulse on-time* 100  $\mu$ s kekerasan yaitu 80 HRB.

Hasil ini didukung oleh penelitian Akkurt dan Adnan (2017) “*The effect of cutting process on surface microstructure and hardness of pure and Al 6061 aluminium alloy*” dimana setelah pemotongan EDM dilakukan, micro struktur benda kerja mengalami perubahan dan menghasilkan kekerasan pada permukaan benda kerja yang bervariasi.

Rao, et al. (2008) menyatakan bahwa ketika arus ditingkatkan, terjadi peningkatan jumlah karbon yang mengendap pada bahan. Ini terjadi karena karbon terdeposit dari elektroda dan cairan dielektrik selama proses pemadaman yang terjadi pada

permukaan bahan. Jumlah karbon yang mengendap ini menginduksi peningkatan nilai kekerasan dalam proses material.



**Gambar 6.** Grafik Hubungan Antara Arus Listrik (A) dan *Pulse On-Time* ( $\mu$ s) Terhadap Nilai Kekerasan Permukaan (HRB) Baja SUJ2

#### IV. Kesimpulan

Hasil seluruh perhitungan statistik ANOVA menunjukkan bahwa nilai  $f_{hitung} > f_{tabel}$  artinya  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima. Hal ini menunjukkan bahwa arus listrik dan *pulse on-time* pada proses permesinan EDM *sinking* memiliki pengaruh pada kekerasan material baja SKD11 dan SUJ2. Penggunaan baja SKD11 memberikan manfaat dalam industri perkakas dan cetakan karena dikenal dengan kemampuannya menjaga ukuran setelah perlakuan panas serta membuat material ini cocok untuk diaplikasikan menjadi *tool steel* serta penggunaan baja SUJ2 mempunyai keunggulan dalam presisi dan ketahanan terhadap korosi dan membuatnya menjadi pilihan yang ideal karena ketahanan terhadap gesekan dan tekanan berulang.

Sedangkan dari grafik menunjukkan bahwa semakin besar arus listrik dan *pulse on-time*, maka kekerasan pada baja SKD11 dan SUJ2 akan ikut meningkat.

#### Ucapan Terimakasih

Alhamdulillah puji syukur atas kehadiran Allah SWT karena berkat Rahmat dan Hidayah-Nya penulis dan tim selalu diberikan kesehatan sehingga dapat menyelesaikan penelitian. Tidak lupa ucapan terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Tangerang yang telah memberikan dukungan berupa ilmu dan fasilitas.

#### Daftar Pustaka

- Abulais&Shaaz. 2014. *Current Research trends in Electric Discharge Machining (EDM). Review. Division of Manufacturing Processes & Automation Engineering Univesity of Delhi, India.*
- Akkurt&Adnan. (2014). *The effect of cutting process on surface microstructure and hardness of pure and Al 6061 aluminium alloy. Department of Industrial Design Engineering*

- Faculty of Technology, Gazi University, Turkey.
- Bailey&John. A. (2000). *Mechanical Testing and Evaluation*. ASM Handbook, Vol.8 No.E18. The Timkin Company. Ohio.
- Bisono, R. M. (2015). *Optimization of Multi-Response Of The EDM Sinking Process on DAC Tool Steel Using Taguchi-Grey-Fuzzy*. Departement of Mechanical.
- Callister&William D. (2007). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Wiley.Utah.
- Jayakumar, V., dkk. (2014). *Investigation of Mechanical Properties of Aluminium 6061 Alloy Friction Stir Welding*. Ibyr College of Technology. Oman.
- Kakani, S.L. (2014). *Material Science, Edisi Revisi*. New Age International Pvt Ltd Publishers. New Delhi.
- Khan&Ishtiaq Ahmed. (2011). *Experimental and Numerical Investigation on the Friction Welding Process*. Jawa harlal Nehru Tecnology University Hyderabad. India.
- Lin, C. L., dkk. (2002). "Optimisation of The EDM Process Based on the Orthogonal Array with Fuzzy Logic and Grey Relational Analysis Method" *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 19, hal. 271-277.
- Mulyadi&Agus Puji Suryanto. (2016). *Optimalisasi Hasil Proses Wire-Cut EDM Dengan Metode Principal Component Analysis (PCA)*. Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
- Pradana, dkk. (2016). *The Effect of Discharge Current and Pulse-On Time on Biocompatible Zr-based BMG Sinking-EDM*. De Gruyter License. Berlin.
- Prayogo, B. A. (2014). *EDM (Electrical Discharge Machine)*. Politeknik Negeri Jakarta.
- Quediri, dkk. (2020). *Principles and Characteristics of Diferrent EDM Processes in Machining Tool and Die Steels*. Licensee MDPI. Basel.
- Raut, dkk. (2015). *A Review on Optimization of MachiningParameters in EDM*. College of Engineering Satara Maharashtra. India.
- Rianto Adi. (2021). *Metodologi Penelitian Sosial dan Hukum*. Jakarta: Yayasan Pustaka Obor Indonesia
- Sagedistira, I. (2012). *Studi Pengaruh Variasi Arus Proses Pemesinan EDM Sinking Terhadap Kekerasan Dan Karakteristik Struktur Mikro Material Baja SKD 11*. Universitas Jember.
- Tim Program Studi Teknik Mesin. (2022). *Buku Panduan Tugas Akhir*. Tangerang.
- Widarto, dkk (2008), *Teknik Pemesinan untuk SMK*, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan Nasional
- Zuback, J.S., (2018). *The Hardness of Additively Manufactured Alloys*. Licensee MDPI. Basel
- <https://scholar.google.com/> diakses selama penelitian berlangsung