

Optimasi Multirespon Proses Permesinan EDM Sinking pada Material AISI P20 Menggunakan Metode Taguchi-Grey Relational Analysis

Ridhani Anita Fajardini ^{1*}, Dhika Aditya Purnomo ², Farizi Rachman ³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1,2,3}

Email: ridhani.anita@student.ppns.ac.id ^{1*}

Abstract – Determining the combination of machining parameters is very important. The right machining parameters can produce optimal machining performance. EDM sinking is used to produce automotive components, aerospace, molds, and dies. AISI P20 is material that is widely used by manufacturing industry for dies and mold because of its hardness and resistance to heat. Based on these reasons, optimization is carried out to get appropriate parameter combination for the EDM sinking process using AISI P20. Process variables in this study are type of electrode, gap voltage, on time, and off time which aims to produce optimal response. Response variables observed were material removal rate, surface roughness, and electrode wear rate. Based on Taguchi method, matrix orthogonal L18 ($2^1 \times 7^3$) was chosen for design of experiment. Taguchi method and Grey Relational Analysis used to optimize multiple responses simultaneously. Parameter optimum condition could be obtained by using graphite and setting values of gap voltage 50 volt, on time 250 μ s, off time 40 μ s. Percentage contribution of electrode type is 39,0733% whereas off time give contribution 32,4311%, on time 6,4574% and gap voltage 4,3590%.

Keyword: EDM Sinking, Electrode Wear Rate, Material Removal Rate, Surface Roughness, Taguchi-Grey Relational Analysis

Nomenclature

MRR = laju pengerjaan material
EWR = laju keausan elektroda
SR = kekasaran permukaan

1. PENDAHULUAN

Electrical Discharge Machining (EDM) digunakan sebagai proses permesinan non-konvensional yang memanfaatkan sejumlah loncatan bunga api listrik melalui celah antara elektroda dan benda kerja yang diisi dengan cairan dielektrik. Energi panas dihasilkan akibat dari loncatan bunga api yang akan menyebabkan terjadinya pelelehan lokal pada benda kerja dan elektroda, yang kemudian terbawa keluar oleh cairan dielektrik yang berada pada celah di antara benda kerja dan elektroda. Besarnya kecepatan proses pemotongan benda kerja dipengaruhi oleh temperatur leleh dari material atau benda kerja [1], [2]. Energi panas yang dihasilkan oleh saluran plasma antara elektroda dan benda kerja, berkisar antara 8000°C sampai 12.000°C, dan dapat mencapai hingga suhu 20.000°C [3]. AISI P20 adalah baja yang biasa digunakan sebagai cetakan plastik, kerangka *plastic pressure dies*, *hydro forming tool* karena sifatnya yang keras dan tahan terhadap panas [4].

Metode Taguchi merupakan perancangan percobaan untuk menghasilkan kombinasi faktor dan level yang dapat dikendalikan untuk memperbaiki kualitas produk. Kualitas produk

yang dihasilkan dievaluasi berdasarkan tingkat kekasaran permukaan. Harga kekasaran semakin kecil menunjukkan permukaannya halus. Proses pengerjaan benda kerja juga perlu memperhatikan *material removal rate* (MRR) dan *electrode wear rate* (EWR) agar mendapatkan waktu pengerjaan yang singkat namun tetap dapat menekan biaya seminimal mungkin. Metode Taguchi hanya dapat digunakan untuk optimasi dengan satu respon. Untuk melakukan optimasi pada beberapa respon secara serentak dapat dilakukan dengan menggunakan metode Taguchi, yang digabungkan dengan metode *grey relational analysis* (GRA). Dewangan, dkk melakukan penelitian untuk mengoptimalkan *material removal rate* (MRR) dan *tool wear rate* (TWR) menggunakan Taguchi-Grey Relational Analysis. Penelitian tersebut menggunakan elektroda tembaga dan material AISI P20 yang menerapkan metode pembisan geram *impulse flushing*. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil kombinasi parameter yaitu arus (I_p) 8 A, *pulse on time* (T_{on}) 500 μ s, *tool lift time* (T_{up}) 0.0 s, *work time* (T_w) 1 s, dan *inter electrode gap* (IEG) 170 μ m [4]. Terdapat sebuah studi tentang optimasi multirespon proses permesinan EDM pada AISI D2 Tool Steel menggunakan metode Taguchi-Grey-Fuzzy. Berdasarkan hasil ANOVA, *gap voltage* dan *on time* merupakan parameter yang paling signifikan mempengaruhi *material removal rate* dan *surface roughness* [5].

Pada proses pengerjaan menggunakan EDM *sinking*, pengikisan material terjadi pada elektroda dan benda kerja. Semakin meningkatnya frekuensi bunga api maka laju erosi akan tinggi yang pada akhirnya akan menghasilkan laju pengejaan material dan laju keausan elektroda yang lebih besar. Pada proses pembuatan *mold* perlu memperhatikan laju keausan elektroda untuk mendapatkan biaya minimal serta menghasilkan produk berkualitas ditinjau dari kekasaran pada benda kerja. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi laju pengerjaan material, laju keausan elektroda, dan kekasaran permukaan yang optimal dengan mengkombinasikan parameter pada proses EDM *sinking*. Desain Eksperimen menggunakan metode Taguchi. Metode Taguchi dan *Grey Relational Analysis* untuk menghasilkan optimasi respon gabungan secara serentak.

2. METODOLOGI .

2.1. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain AISI P20 sebagai benda kerja dengan dimensi 25 mm×25 mm ×20 mm, elektroda tembaga dan grafit dengan dimensi permukaannya 13 mm×13 mm. Alat yang diperlukan seperti mesin EDM *sinking* Ariztech ZNC LS 550 untuk pengujian, timbangan digital kapasitas 500 gram dengan ketelitian 0,01 gram, dan *surface roughness tester* mitutoyo SJ 310.

2.2. Rancangan Percobaan

Pada penelitian ini variabel respon yang digunakan adalah variabel respon terdiri dari laju pengerjaan material (MRR), laju keausan elektroda (EWR), dan kekasaran permukaan (SR). MRR dihitung berdasarkan banyaknya berat benda yang hilang selama waktu proses permesinan, sedangkan EWR didefinisikan sebagai berat material elektroda yang hilang selama durasi proses permesinan [6]. MRR dan EWR dihitung menggunakan persamaan (1) dan (2) berikut:

$$MRR = \frac{W_{wb} - W_{wa}(g)}{t (min)} \quad (1)$$

$$EWR = \frac{W_{eb} - W_{ea}(g)}{t (min)} \quad (2)$$

W_{wb} dan W_{eb} adalah berat benda kerja dan elektroda sebelum proses permesinan (gram). W_{wa} dan W_{ea} adalah berat benda kerja dan elektroda sesudah proses permesinan (gram) sedangkan t merupakan waktu proses permesinan (menit).

Kekasaran permukaan didefinisikan dengan penyimpangan rata-rata aritmatika (R_a) yang merupakan jumlah rata-rata puncak tertinggi dan terendah dari setiap gelombang yang diukur pada panjang tertentu [7]. Kekasaran permukaan diketahui nilainya melalui pengujian dengan

surface roughness tester dinyatakan dalam satuan μm .

Variabel proses terdiri dari parameter (faktor) jenis elektroda dengan 2 level, *gap voltage*, *on time*, dan *off time* dengan 3 level. Nilai dari setiap parameter tersebut beserta levelnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Faktor dan Level Faktor

Faktor	Satuan	Level		
		1	2	3
Jenis elektroda	-	Tembaga	Grafit	-
<i>Gap Voltage</i>	volt	30	40	50
<i>On time</i>	μs	150	180	250
<i>Off time</i>	μs	20	40	60

Rancangan percobaan berdasarkan matriks *orthogonal array* pada metode Taguchi. Penentuan matriks *orthogonal array* berdasarkan jumlah faktor, derajat kebebasan, dan level faktor. Matriks *orthogonal array* $L_{18} (2^1 \times 3^3)$ digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2: Matriks Ortogonal $L_{18} (2^1 \times 3^3)$

Kombinasi	Jenis Elektroda	<i>Gap voltage</i>	<i>On time</i>	<i>Off time</i>
1	Tembaga	30	150	20
2	Tembaga	30	180	40
3	Tembaga	30	250	60
4	Tembaga	40	150	20
5	Tembaga	40	180	40
6	Tembaga	40	250	60
7	Tembaga	50	150	40
8	Tembaga	50	180	60
9	Tembaga	50	250	20
10	Grafit	30	150	60
11	Grafit	30	180	20
12	Grafit	30	250	40
13	Grafit	40	150	40
14	Grafit	40	180	60
15	Grafit	40	250	20
16	Grafit	50	150	60
17	Grafit	50	180	20
18	Grafit	50	250	40

Matriks *orthogonal array* $L_{18} (2^1 \times 3^3)$ digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2. Matriks tersebut memiliki total eksperimen sebanyak 18 kali dengan 1 faktor 2 level dan 3 faktor dengan 3 level.

2.3. Metode Taguchi-Grey Relational Analysis

GRA merupakan salah satu metode berdasarkan teori *grey*. Pada dasarnya GRA digunakan dalam optimasi untuk mengubah beberapa respon menjadi satu respon. Tahapan untuk melakukan analisa dengan Taguchi-GRA dijelaskan pada poin berikut [8], [9]:

1. Rasio S/N

Rasio S/N atau rasio *signal to noise* digunakan untuk meminimalkan sensitivitas

karakteristik kualitas terhadap faktor gangguan. Terdapat tiga jenis rasio S/N yang bergantung pada karakteristik kualitas yang diinginkan, yaitu *smaller is better*, *larger is better*, dan *nominal is better*. Respon laju pengerjaan material menggunakan rasio S/N *larger is better*. Laju keausan elektroda dan kekasaran permukaan menggunakan rasio S/N *smaller is better*.

Larger is better

$$\frac{S}{N} \text{ rasio} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (3)$$

Smaller is better

$$\frac{S}{N} \text{ rasio} = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right] \quad (4)$$

Dengan n adalah jumlah pengulangan, y adalah data percobaan.

2. Normalisasi Rasio S/N

Normalisasi rasio S/N bertujuan untuk mentransformasi nilai rasio S/N dalam skala nilai yang besarnya antara nol sampai satu. Normalisasi dilakukan pada masing-masing respon. Berikut ini merupakan persamaan normalisasi rasio S/N:

$$X_i^*(k) = \frac{Xo^o(k) - \text{Min } Xo^o(k)}{\text{Max } Xo^o(k) - \text{Min } Xo^o(k)} \quad (5)$$

Keterangan,

Max $Xo^o(k)$ = Nilai maksimum perhitungan rasio S/N

Min $Xo^o(k)$ = Nilai minimum perhitungan rasio S/N

$Xo^o(k)$ = Nilai dari rasio S/N disetiap eksperimen

$X_i^*(k)$ = Normalisasi rasio S/N

k = Eksperimen yang dilakukan

3. Simpangan deviasi

Simpangan deviasi adalah selisih absolut antara nilai maksimum hasil normalisasi yang besarnya 1 dengan data yang telah dinormalisasi. Penentuan simpangan deviasi dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut [7] :

$$\Delta_{oi}(k) = |X_0^*(k) - X_i^*(k)| \quad (6)$$

Keterangan,

Δ_{oi} = penyimpangan disetiap eksperimen

$X_0^*(k)$ = nilai rasio S/N normalisasi terbesar

$X_i^*(k)$ = nilai rasio S/N normalisasi pada eksperimen ke-i

4. Grey Relational Coefficient (GRC)

$$\zeta_i^*(k) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{maks}}{\Delta_{oi}(k) + \zeta \Delta_{maks}} \quad (7)$$

Keterangan,

Δ_{min} = nilai terendah dari simpangan deviasi

Δ_{maks} = nilai tertinggi dari simpangan deviasi

ζ = koefisien pembeda (nilai $\zeta = 0,5$)

ζ_i^* = Grey Relational Coefficient

$\Delta_{oi}(k)$ = Nilai deviasi

5. Grey Relational Grade (GRG)

$$Y_i(k) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_i^*(k) \quad (8)$$

Keterangan,

ζ_i^* = nilai Grey Relational Grade (GRC)

n = jumlah respon yang diteliti

6. Analysis of Variance (ANOVA)

ANOVA digunakan untuk mengetahui faktor yang berpengaruh terhadap variabel respon serta untuk mengetahui besarnya kontribusi faktor tersebut.

7. Prediksi GRG Optimal

Bertujuan untuk mengetahui kombinasi parameter yang menghasilkan nilai respon yang paling baik untuk proses tersebut. Dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\mu_{prediksi} = Y_m + \sum_{i=1}^q Y_i - Y_m \quad (9)$$

Keterangan,

Y_m = nilai rata – rata dari keseluruhan GRG

Y_i = rata – rata GRG kondisi level optimal

8. Interpretasi hasil

a. Persen kontribusi

Persen kontribusi untuk mengetahui besarnya presentase kontribusi tiap faktor terhadap respon. Perhitungan persen kontribusi pada dasarnya adalah fungsi dari jumlah kuadrat dari masing-masing faktor yang signifikan.

$$\rho = \frac{SS_A}{SS_{(total)}} \times 100\% \quad (10)$$

b. Interval kepercayaan eksperimen prediksi

$$CI_p = \pm \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;df_e} \times MS_e}{n_{eff}}} \quad (11)$$

keterangan,

$$n_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan}}$$

$F_{\alpha;1;df_e}$ = F tabel

MS_e = rata-rata kuadrat error

c. Interval kepercayaan eksperimen konfirmasi

$$CI_k = \pm \sqrt{F_{\alpha;1;V_e} MS_e \left[\left(\frac{1}{n_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \quad (12)$$

keterangan,

r = jumlah eksperimen konfirmasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan percobaan berat benda kerja dan elektroda diukur terlebih dahulu. Setelah dilakukan percobaan dengan pemakanan sedalam 0,5 mm, kemudian berat benda kerja dan elektroda diukur kembali serta melakukan pengukuran kekasaran permukaan pada hasil pemakanan.

3.1. Hasil Percobaan Prediksi

Setelah melakukan pengukuran hasil percobaan maka diperoleh data MRR, EWR, dan SR. perhitungan MRR sesuai persamaan 1 dan EWR sesuai persamaan 2. Data hasil pengukuran untuk respon tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3: Hasil Percobaan

Komb.	MRR (gram/menit)		EWR (gram/menit)		SR (μm)	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2

1	0.0444	0.0468	0.0016	0.0016	5.035	4.663
2	0.0584	0.0569	0.0018	0.0016	4.727	4.913
3	0.0389	0.0390	0.0013	0.0013	4.539	3.981
4	0.0676	0.0691	0.0023	0.0023	4.656	4.702
5	0.0553	0.0552	0.0017	0.0017	4.160	4.638
6	0.0421	0.0411	0.0016	0.0016	4.561	4.129
7	0.0613	0.0606	0.0018	0.0019	4.426	4.686
8	0.0377	0.0382	0.0015	0.0014	5.094	4.441
9	0.0595	0.0597	0.0022	0.0021	3.761	3.909
10	0.0289	0.0321	0.0006	0.0006	3.739	4.221
11	0.0518	0.0517	0.0009	0.0009	4.150	2.338
12	0.0207	0.0203	0.0004	0.0004	2.175	2.497
13	0.0693	0.0667	0.0010	0.0010	3.986	3.841
14	0.0432	0.0407	0.0009	0.0009	3.846	4.053
15	0.0341	0.0335	0.0005	0.0005	1.834	1.987
16	0.0470	0.0466	0.0008	0.0008	3.806	4.489
17	0.0404	0.0405	0.0007	0.0007	4.014	3.237
18	0.0258	0.0256	0.0004	0.0005	2.665	2.919

3.2. Analisa Data

Perhitungan rasio S/N *larger is better* (semakin besar semakin baik) untuk MRR sesuai persamaan 3. Respon EWR, dan SR dengan rasio S/N *smaller is better* (semakin kecil semakin baik) sesuai persamaan 4. Hasil perhitungan rasio S/N pada Tabel 4 berikut ini:

Tabel 4: Rasio S/N

Komb.	S/N MRR	S/N EWR	S/N SR
1	-26.8275	55.9168	-13.7194
2	-24.7874	55.2669	-13.6628
3	-28.1994	57.8128	-12.6062
4	-23.3050	52.9182	-13.4031
5	-25.1536	55.3912	-12.8790
6	-27.6232	55.9091	-12.7701
7	-24.3026	54.6709	-13.1757
8	-28.4208	58.6280	-13.5861
9	-24.5002	53.5121	-11.6773
10	-30.3532	64.1239	-12.0137
11	-25.7249	60.9096	-10.5473
12	-33.7709	68.7334	-7.3890
13	-23.3577	60.0514	-11.8521
14	-27.5549	60.7042	-11.9335
15	-29.4169	66.1265	-5.6305
16	-26.5936	61.6339	-12.3852
17	-27.8628	62.5899	-11.2370
18	-31.8044	66.8375	-8.9279

Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan Normalisasi Rasio S/N menggunakan persamaan 5. Normalisasi Rasio S/N juga disebut sebagai *grey relational generating*. Nilai tertinggi menunjukkan kombinasi dengan hasil yang terbaik. Hasil terbaik normalisasi yaitu satu. Hasil normalisasi digunakan untuk perhitungan simpangan deviasi sesuai persamaan 6. Berdasarkan perhitungan diketahui bahwa nilai simpangan deviasi berbanding terbalik dari normalisasi rasio S/N yaitu nilai terbesar berubah menjadi terkecil. Hasil perhitungan normalisasi S/N dan simpangan deviasi ditunjukkan pada Tabel 5 berikut ini:

Tabel 5: Normalisasi Rasio S/N

Komb.	Normalisasi S/N			Simpangan Deviasi		
	MRR	EWR	SR	MRR	EWR	SR
1	0.6634	0.1896	0.0000	0.3366	0.8104	1.0000

2	0.8584	0.1485	0.0070	0.1416	0.8515	0.9930
3	0.5323	0.3095	0.1376	0.4677	0.6905	0.8624
4	1.0000	0.0000	0.0391	0.0000	1.0000	0.9609
5	0.8234	0.1564	0.1039	0.1766	0.8436	0.8961
6	0.5874	0.1891	0.1174	0.4126	0.8109	0.8826
7	0.9047	0.1108	0.0672	0.0953	0.8892	0.9328
8	0.5112	0.2346	0.0165	0.4888	0.7654	0.9835
9	0.8858	0.0376	0.2525	0.1142	0.9624	0.7475
10	0.3266	0.7085	0.2109	0.6734	0.2915	0.7891
11	0.7688	0.5053	0.3922	0.2312	0.4947	0.6078
12	0.0000	1.0000	0.7826	1.0000	0.0000	0.2174
13	0.9950	0.4510	0.2309	0.0050	0.5490	0.7691
14	0.5939	0.4923	0.2208	0.4061	0.5077	0.7792
15	0.4160	0.8352	1.0000	0.5840	0.1648	0.0000
16	0.6858	0.5511	0.1649	0.3142	0.4489	0.8351
17	0.5645	0.6115	0.3069	0.4355	0.3885	0.6931
18	0.1879	0.8801	0.5924	0.8121	0.1199	0.4076

Nilai dari simpangan deviasi selanjutnya digunakan untuk perhitungan *grey relational coefficient* (GRC) sesuai dengan persamaan 7. Dari hasil GRC kemudian dilanjutkan dengan menentukan nilai *grey relational grade* (GRG) sesuai persamaan 8. Hasil dari GRC dan GRG dapat dilihat selengkapnya pada Tabel 6 berikut ini:

Tabel 6: GRC dan GRG

Komb.	GRC			GRG	S/N GRG	Rank
	MRR	EWR	SR			
1	0.5977	0.3816	0.3333	0.4375	-7.1799	15
2	0.7792	0.3700	0.3349	0.4947	-6.1131	11
3	0.5167	0.4200	0.3670	0.4346	-7.2388	16
4	1.0000	0.3333	0.3423	0.5585	-5.0591	6
5	0.7390	0.3721	0.3581	0.4897	-6.2007	12
6	0.5479	0.3814	0.3616	0.4303	-7.3243	17
7	0.8399	0.3599	0.3490	0.5163	-5.7426	9
8	0.5057	0.3951	0.3370	0.4126	-7.6892	18
9	0.8141	0.3419	0.4008	0.5189	-5.6981	8
10	0.4261	0.6317	0.3879	0.4819	-6.3409	13
11	0.6838	0.5027	0.4513	0.5459	-5.2573	7
12	0.3333	1.0000	0.6970	0.6768	-3.3913	4
13	0.9900	0.4767	0.3940	0.6202	-4.1491	5
14	0.5518	0.4962	0.3909	0.4796	-6.3819	14
15	0.4613	0.7521	1.0000	0.7378	-2.6415	3
16	0.6141	0.5269	0.3745	0.5052	-5.9312	10
17	0.7750	0.7943	0.6840	0.7511	-2.4862	2
18	0.7548	0.9542	0.8598	0.8563	-1.3476	1

Hasil dari GRG menunjukkan bahwa nilai yang paling kecil adalah percobaan yang kurang memberikan kontribusi optimal pada respon sedangkan nilai terbesar menunjukkan percobaan terbaik.

Langkah selanjutnya adalah perhitungan ANOVA menggunakan nilai dari S/N GRG. ANOVA terdiri dari perhitungan derajat kebebasan (df), jumlah kuadrat (*sum of square*, SS), kuadrat tengah (*mean of square*, MS) dan F-value (F_{hitung}). Hasil dari ANOVA dapat dilihat pada Tabel 7 berikut ini:

Tabel 7: ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value
Jenis Elektroda	1	22.9365	22.9365	38.5720
Gap Voltage	2	3.6817	1.8409	3.0958
On Time	2	4.8816	2.4408	4.1046

Off Time	2	19.7332	9.8666	16.5925
Error	10	5.9464	0.5946	-
Total	17	57.1795	-	-

Selanjutnya dilakukan pengujian hipotesa pada masing-masing faktor dengan membandingkan nilai F_{hitung} dengan F_{tabel} . F_{tabel} yang digunakan dengan tingkat kepercayaan 95% dan α sebesar 0,05. Jika F_{hitung} lebih kecil dari F_{tabel} maka hipotesa awal (H_0) diterima. Berikut ini pada Tabel 8 merupakan pengujian hipotesa pada masing-masing faktor:

Tabel 8: Uji Hipotesis

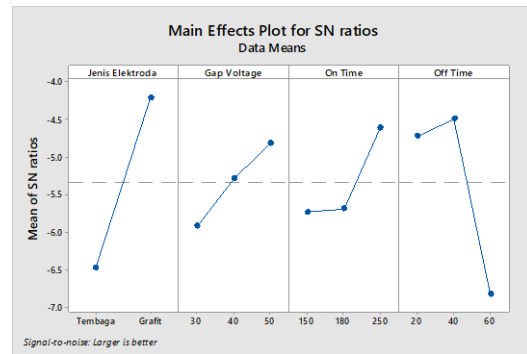
Faktor	F hitung	F tabel	Kesimpulan
Jenis Elektroda	38.5720	4.9646	H_0 ditolak
Gap Voltage	3.0958	4.1028	H_0 diterima
On Time	4.1046	4.1028	H_0 ditolak
Off Time	16.5925	4.1028	H_0 ditolak

Setelah menghitung ANOVA dan uji hipotesis dilanjutkan dengan penentuan faktor dan level optimum terhadap respon secara serentak atau multirespon. Perhitungan ini menggunakan data rasio S/N GRG. Semakin besar nilai hasil rata-rata S/N rasio, semakin besar pula kontribusinya terhadap ketiga respon yang diamati. Parameter optimum tersebut dapat dilihat pada Tabel 9 berikut ini:

Tabel 9: Parameter Optimum Multirespon

Level	Jenis Elektroda (E)	Gap Voltage (GV)	On Time (TON)	Off Time (TOF)
1	-6.4718	-5.9202	-5.7338	-4.7203
2	-4.2141	-5.2928	-5.6881	-4.4907
3		-4.8158	-4.6069	-6.8177
Delta	2.2577	1.1044	1.1269	2.3270
Rank	2	4	3	1

Berdasarkan tabel di atas, nilai maksimum parameter jenis elektroda berada pada level 2 dengan nilai -4,2141, parameter gap voltage pada level 3 dengan nilai -4,8158, parameter on time pada level 3 dengan nilai -4,6069, dan parameter off time pada level 2 dengan nilai -4,4907. Sehingga kondisi optimum untuk respon MRR, EWR dan SR secara serentak yaitu menggunakan jenis elektroda pada level 2 yaitu grafit, gap voltage pada level 3 dengan nilai 50 volt, on time pada level 3 dengan nilai 250 μ s dan off time pada level 2 dengan nilai 40 μ s. Grafik level faktor respon gabungan ditunjukkan pada gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Grafik Level Optimal Multirespon

Dilakukan perhitungan GRG optimal yang digunakan sebagai nilai konstanta pengurangan serta penjumlahan pada penentuan batas bawah dan atas interval kepercayaan. Perhitungan ini menggunakan persamaan 9.

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} &= \gamma_m + \sum_{i=1}^q \gamma_i - \gamma_m \\ &= -5,3429 + (-4,2141 - (-5,3429)) + (-4,8158 - (-5,3429)) + (-4,6069 - (-5,3429)) + (-4,4907 - (-5,3429)) \\ &= -2,0988 \end{aligned}$$

Persamaan 10 digunakan untuk mengetahui persen kontribusi untuk masing-masing faktor ditunjukkan pada Tabel 10 dibawah ini:

Tabel 10: Persen kontribusi

Source	SS' faktor	ρ %
Jenis Elektroda	22.3419	39,0733
Gap Voltage	2.4924	4.3590
On Time	3.6923	6.4574
Off Time	18.5439	32.4311

Faktor yang memberikan kontribusi terbesar terhadap laju pengerjaan material, laju keausan elektroda, dan kekasaran permukaan adalah faktor jenis elektroda yaitu sebesar 39,0733%. Selanjutnya dilakukan perhitungan interval kepercayaan sesuai persamaan 11 untuk percobaan prediksi menggunakan α sebesar 0,05 dengan F tabel yaitu $F_{(0,05,1,10)}$ dengan nilai 4,9646.

$$\begin{aligned} n_{eff} &= \text{banyaknya pengamatan efektif} \\ &= \frac{18 \times 2}{1 + (1 + 2 + 2 + 2)} = 4,5 \\ Cl_p &= \pm \sqrt{4,9646 \times 0,5946 \times \left[\frac{1}{4,5} \right]} \\ Cl_p &= \pm 0,8100 \\ \mu_{prediksi} - Cl_p &\leq \mu \leq \mu_{prediksi} + Cl_p \\ -2,0988 - 0,8100 &\leq \mu \leq -2,0988 + 0,8100 \\ -2,9087 &\leq \mu \leq -1,2888 \end{aligned}$$

Didapatkan hasil interval kepercayaan untuk percobaan presiksi sebesar $-2,0988 \pm 0,8100$. Sehingga nilai minimumnya yaitu -2,9087 dan nilai maksimum sampai pada rentang -1,2888.

3.3. Percobaan Konfirmasi

Percobaan konfirmasi dilakukan untuk validasi terhadap hasil prediksi kombinasi parameter

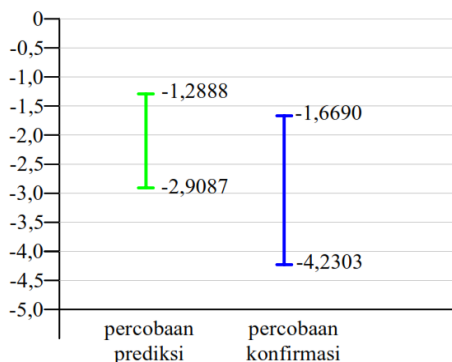
yang telah diperoleh dalam analisa data. Apabila nilai interval kepercayaan percobaan konfirmasi berada pada interval kepercayaan percobaan prediksi maka kombinasi level dari variabel proses dinyatakan valid atau berhasil. Pengolahan data percobaan konfirmasi dilakukan seperti halnya pada percobaan prediksi. Kemudian menghitung interval kepercayaan percobaan konfirmasi dengan persamaan 12.

$$Cl_k = \pm \sqrt{4,9646 \times 0,5946 \times \left[\frac{1}{4,5} + \frac{1}{3} \right]}$$

$$Cl_k = \pm 1,2807$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{konfirmasi}} - Cl_k &\leq \mu \leq \mu_{\text{konfirmasi}} + Cl_k \\ -2,9496 - 1,2807 &\leq \mu \leq -2,9496 + 1,2807 \\ -4,2303 &\leq \mu \leq -1,6690 \end{aligned}$$

Didapatkan interval kepercayaan sebesar -2,9496 ± 1,2807. Perbandingan nilai interval kepercayaan dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2. Interval Kepercayaan Prediksi dan Konfirmasi

Pada grafik tersebut percobaan konfirmasi berada pada interval percobaan prediksi demikian dapat dinyatakan bahwa pengaturan kombinasi variabel proses pada kondisi optimum adalah valid.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan dan proses analisa dengan Metode Taguchi-Grey Relational Analysis didapatkan kesimpulan:

1. Parameter yang berpengaruh terhadap respon MRR serta SR dan EWR pada material AISI P20 secara signifikan yaitu jenis elektroda, *off time*, dan *on time* dengan masing-masing memberikan kontribusi sebesar 39,0733%, 32,4311% dan 6,4574%. Sedangkan parameter *gap voltage* tidak memberikan pengaruh secara signifikan dan memberikan kontribusi sebesar 4,3590%.
2. Kombinasi parameter optimum pada mesin EDM *sinking* terhadap material AISI P20 yaitu menggunakan elektroda grafit, dan *setting* parameter *gap voltage* 50 volt, *on time* 250 μs, dan *off time* 40 μs.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dhika Aditya Purnomo, S.ST., M.T., dan

Bapak Farizi Rachman, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing yang memberikan bimbingan dalam penyelesaian penelitian ini serta seluruh pihak yang telah memberikan dukungan secara moril maupun materiil yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

6. PUSTAKA

- [1] Ho, K. H., & Newman, S. T. (2003). State of the art electrical discharge machining (EDM). *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(13), 1287–1300.
- [2] Bose, G. K., & Mahapatra, K. K. (2015). Multi criteria decision making of machining parameters for Die Sinking EDM Process. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 6: p. 241–252.
- [3] Mahardika, M., Tsujimoto, T., & Mitsui, K. (2008). A new approach on the determination of ease of machining by EDM processes. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(7–8): p.746–760.
- [4] Dewangan, S. K., & Biswas, C. (2013). Optimisation of machining parameters using grey relation analysis for EDM with impulse flushing. *Int. J. Mechatronics and Manufacturing System*, 6(2): p.144–158.
- [5] Soepangkat, B. O. P., Wahyudi, A., & Pramujati, B. (2014). Multi-Responses Optimization Of Edm Sinking process of Aisi D2 Tool Steel using Taguchi Grey – Fuzzy Method. *IPTEK*, 25(2): p.34–40.
- [6] Srinivasan, V. P., Palani, P. K., & Selvarajan, L. (2018). Experimental investigation on electrical discharge machining of ceramic composites (Si₃N₄ - TiN) using RSM. *International Journal Computational Materials Science and Surface Engineering*, Vol. 7. No.2, pp.104–115.
- [7] Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2009). *Manufacturing Engineering And Technology* (6th ed.). Pearson, London.
- [8] Lin, J. L., & Lin, C. L. (2002). The use of the orthogonal array with grey relational analysis to optimize the electrical discharge machining process with multiple performance characteristics. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42(2): p.237–244.
- [9] Soejanto, I. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Graha Ilmu, Yogyakarta, Indonesia.