

OPTIMASI LAJU Pengerjaan Material Benda Kerja dan Kekasaran Permukaan pada Proses Pemesinan WIRE – EDM DENGAN METODE TAGUCHI GREY FUZZY

Nuraini Lusi^a, B.O.P. Soepangkat^b, B. Pramujati^b, A. Mulyana^b, Bachtiar^c

^a*Mahasiswa Program Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*

^b*Laboratorium Proses Manufaktur Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*

^c*Laboratorium Proses Manufaktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111 Jawa Timur Indonesia*

E-mail: lusi_nuraini@yahoo.co.id, bobs_1994@me.its.ac.id, pramujati@me.its.ac.id

Abstract

This paper presents the optimization of the wire electrical discharge machining (WEDM) process of SKD11 tool steel (AISI D2), with multiple performance characteristics based on the orthogonal array with Taguchi-fuzzy method. The experimental studies were conducted under varying WEDM process variables, i.e., on time, open voltage, off time, servo voltage, wire feed and flushing pressure. The optimized multiple performance characteristics were material removal rate (MRR) and surface roughness. The quality characteristic of MRR was larger-is-better, while the quality characteristic of surface roughness was smaller-is-better. The factors studied had three levels, and the experiment design used L_{27} orthogonal array with replication. Experimental results have shown that machining performance in the WEDM process can be improved effectively through this method. The WEDM process variables which significantly affected surface roughness and MRR are on time, wire feed, open voltage, off time, and flushing pressure.

Keywords: SKD11 tool steel, material removal rate, surface roughness, Taguchi-fuzzy method, wire-EDM.

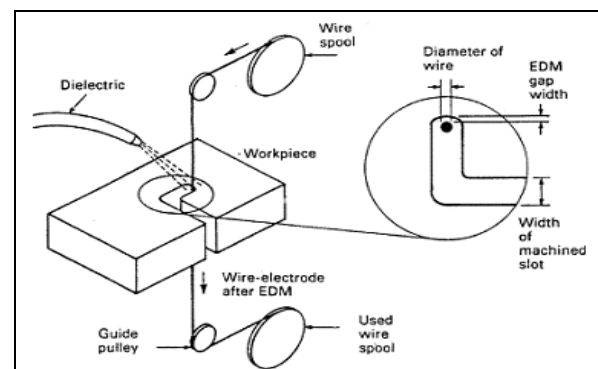
1. PENDAHULUAN

Wire-Electrical Discharge Machining (WEDM) merupakan proses pemesinan non-konvensional yang digunakan untuk pemotongan material dengan kontur yang kompleks serta tingkat kepresisian yang tinggi. Proses ini banyak digunakan pada proses pembuatan cetakan yang diproduksi dengan material dengan kekerasan yang tinggi, kepresisian geometri yang tinggi serta kekasaran permukaan yang rendah.

WEDM adalah sebuah termo-elektrik proses yang menyebabkan benda kerja terkikis karena pelepasan muatan listrik yang mengakibatkan serangkaian bunga api listrik antara benda kerja dan elektroda. Pada umumnya, elektroda kawat yang digunakan berdiameter 0,05 mm sampai 0,4 mm. Prinsip dasar proses pemesinan WEDM ditunjukkan pada Gambar 1 [4]. Proses pemesinan WEDM tidak dipengaruhi oleh sifat mekanik benda kerja, tetapi dipengaruhi oleh titik leburnya.

Proses WEDM sangat berguna untuk menghasilkan benda tiga dimensi dengan bentuk yang kompleks yang menuntut ketelitian yang tinggi dan permukaan hasil pemotongan yang halus. WEDM banyak digunakan dalam pembuatan *stamping dies* dan *extrusion dies*. Karakteristik

kualitas yang penting dari WEDM diantaranya dinyatakan oleh laju pengerjaan material atau *material removal rate* (MRR) dan kekasaran permukaan benda kerja.



Gambar 1. Prinsip dasar proses WEDM

Datta dan Mahapatra (2010) melakukan penelitian tentang proses WEDM dengan respon *material removal rate* (MRR), kekasaran permukaan dan lebar pemotongan. Faktor yang diteliti adalah *discharge current*, *pulse duration*, *pulse frequency*, *wire speed*, *wire tension* dan *dielectric flow rate*. Setiap faktor memiliki tiga level. Rancangan percobaan

menggunakan *orthogonal array L₂₇*. Metode yang digunakan adalah *response surface methodology* yang dikorabolasi dengan metode *Taguchi-grey relational analysis*. Hasil eksperimen konfirmasi menunjukkan bahwa faktor *discharge current*, *pulse duration*, *pulse frequency* dan *wire speed* mempunyai efek positif terhadap semua respon yang diteliti, namun faktor *wire tension* mempunyai efek negatif terhadap semua respon yang diteliti.

Fong dan Chen (2006) melakukan penelitian tentang pengaturan faktor pada proses pemesinan EDM. Material yang digunakan adalah *Hardened Tool Steel (SKD11)* dengan elektroda tembaga. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan metode Taguchi dan logika *fuzzy*. Faktor yang dikontrol adalah *open circuit voltage*, *pulse duration*, *duty cycle*, *pulsed peak current*, *powder concentration*, *regular distance for electrode lift*, *time interval for electrode lift* dan *powder size*, dan masing-masing faktor memiliki tiga level. Hasil eksperimen menunjukkan faktor *pulse time*, *duty factor*, dan *peak current* bersama-sama memberikan kontribusi yang sangat signifikan sebesar 81,5% dalam mempengaruhi variasi respon.

Penentuan kombinasi faktor yang tepat untuk mencapai respon yang optimum telah menjadi fokus penelitian pada proses pemesinan WEDM. Dalam hal ini pemilihan metode akan berkaitan langsung dengan kualitas produk yang dihasilkan. Metode Taguchi adalah salah satu metode yang efektif untuk mengendalikan kualitas produk secara *off-line*, yaitu usaha pengendalian atau perbaikan kualitas yang dimulai dari perancangan hingga pemrosesan produk. Metode Taguchi hanya bisa mengoptimasi proses pada satu respon. Namun, adanya metode seperti *grey relational analysis* dan *fuzzy logic* membuat metode Taguchi dapat digunakan untuk melakukan optimasi terhadap beberapa respon secara serentak. Metode ini sangat efektif untuk mengadakan perbaikan kualitas, pengurangan biaya dalam pembuatan produk maupun pengembangan produk.

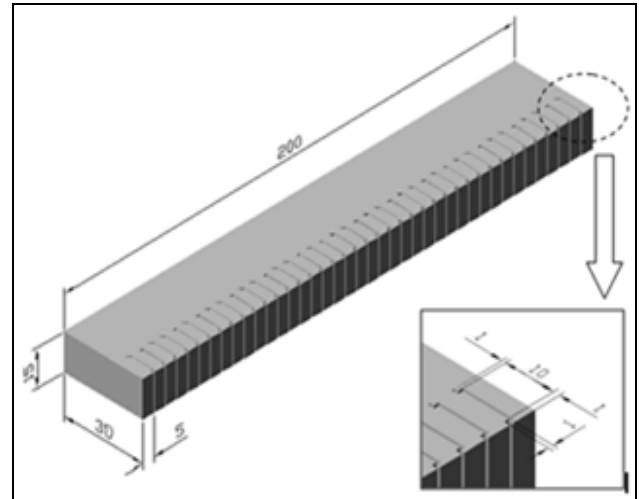
2. Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

2.1 Bahan penelitian

1. Benda kerja

Benda kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja SKD-11 (AISI D2). Kekerasan baja SKD-11 berkisar antara 50 HRC hingga 62 HRC. Dimensi benda kerja dapat dilihat pada Gambar 2.

2. Elektroda kawat yang digunakan adalah Seiki Denko HSD-25P-5RT berbahan kuning dengan diameter 0,25 mm.



Gambar 2. Dimensi material benda kerja dan skema proses pemotongan

2.2 Peralatan Penelitian

1. Mesin WEDM yang digunakan pada penelitian ini adalah CHMER CW32F, dengan spesifikasi: arah pergerakan lima sumbu (x, y, z, u, v), diameter kawat 0,15 hingga 0,3 mm, kecepatan kawat maksimal 250 mm/detik dan dimensi meja kerja 600 mm x 400 mm.
2. Peralatan ukur:
 1. *Stopwatch*
Stopwatch digunakan untuk menghitung waktu aktual proses WEDM.
 2. Mikrometer
Mikrometer digunakan untuk mengukur dimensi benda kerja dan elektroda. Mikrometer yang digunakan adalah MITUTOYO dengan ketelitian 0.01 mm.
 3. *Surface roughness tester*
Alat ukur ini digunakan untuk mengetahui angka kekasaran permukaan produk yang dihasilkan dari suatu proses pemesinan. *Surface roughness tester* yang digunakan dalam penelitian ini adalah MITUTOYO *SurfTest-401* dengan kecermatan 0,1 μm .

2.3 Rancangan Penelitian Metode Taguchi

Dalam penelitian ini dipilih enam faktor atau variabel proses yang masing-masing memiliki tiga level. Pengaturan level pada masing-masing faktor ditunjukkan pada Tabel 1.

Rancangan penelitian dilakukan berdasarkan metode Taguchi, dimana eksperimen dilakukan berdasarkan pada rancangan percobaan *orthogonal array L₂₇* seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Percobaan kemudian direplikasi sebanyak tiga kali.

Tabel 1. Faktor –faktor dan levelnya

Faktor	level 1	level 2	level 3
A <i>On time</i> (µs)	4	6	8
B <i>Open voltage</i> (Volt)	2	3	4
C <i>Off time</i> (µs)	10	11	12
D <i>Servo voltage</i> (Volt)	30	35	40
E <i>Wire feed</i> (mm/s)	8	9	10
F <i>Water flow</i> (kg/cm ²)	5	10	15

Tabel 2. Rancangan percobaan *orthogonal array* L₂₇

No. Percobaan	Faktor					
	A (ON)	B (OV)	C (OFF)	D (SV)	E (WF)	F (FP)
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3
4	1	2	1	2	2	3
5	1	2	2	3	3	1
6	1	2	3	1	1	2
7	1	3	1	3	3	2
8	1	3	2	1	1	3
9	1	3	3	2	2	1
10	2	1	1	2	3	2
11	2	1	2	3	1	3
12	2	1	3	1	2	1
13	2	2	1	3	1	1
14	2	2	2	1	2	2
15	2	2	3	2	3	3
16	2	3	1	1	2	3
17	2	3	2	2	3	1
18	2	3	3	3	1	2
19	3	1	1	3	2	3
20	3	1	2	1	3	1
21	3	1	3	2	1	2
22	3	2	1	1	3	2
23	3	2	2	2	1	3
24	3	2	3	3	2	1
25	3	3	1	2	1	1
26	3	3	2	3	2	2
27	3	3	3	1	3	3

3. SKEMA NUMERIK

Langkah-langkah optimasi metode Taguchi *grey fuzzy* yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung rasio S/N untuk Masing-Masing Respon.

Rasio S/N (*Signal to Noise*) digunakan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variasi suatu respon. Rasio S/N merupakan rancangan untuk melakukan transformasi pengulangan data ke dalam suatu nilai yang merupakan ukuran dari variasi yang timbul tergantung dari jenis karakteristik kualitas.

Karakteristik respon optimal yang digunakan dalam eksperimen ini adalah semakin kecil semakin

baik (*smaller is better*) yang berlaku untuk respon kekasaran permukaan dan semakin besar semakin baik (*larger is better*) untuk respon laju pengerjaan material benda kerja. Rasio S/N dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Lin et al., 2002):

a. Semakin kecil semakin baik (*smaller is better*)

$$S/N = -10 \log \left[\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} \right] \tag{1}$$

b. Semakin besar semakin baik (*larger is better*)

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

2. Normalisasi Data untuk Masing-Masing Respon

Pada penelitian ini, normalisasi dilakukan pada rasio S/N dimana rasio S/N memiliki karakteristik kualitas semakin besar semakin baik. Nilai S/N rasio dinormalkan menjadi nilai yang besarnya antara 0 dan 1. Proses untuk menormalisasikan S/N rasio menggunakan persamaan sebagai berikut (Lin et al., 2002):

a. Semakin kecil semakin baik (*smaller is better*)

$$X_i^*(k) = \frac{\max_k X_i(k) - X_i(k)}{\max_k X_i(k) - \min_k X_i(k)} \tag{3}$$

b. Semakin besar semakin baik (*larger is better*)

$$X_i^*(k) = \frac{X_i(k) - \min_k X_i(k)}{\max_k X_i(k) - \min_k X_i(k)} \tag{4}$$

3. Menentukan Deviation Sequence Δ_{0,i}(k)

Deviation sequence Δ_{0,i}(k) adalah selisih absolut antara nilai maksimum hasil normalisasi yang besarnya 1 dengan data yang telah dinormalisasi. Penentuan *deviation sequence* dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut (Lin et al., 2002):

$$\Delta_{0,i}(k) = |X_i(k) - X_i^*(k)| \tag{5}$$

4. Menentukan Grey Relational Coefficient ξ_i(k)

Grey relational coefficient (GRC) menunjukkan hubungan antara kondisi yang ideal (terbaik) dengan kondisi aktual dari respon yang dinormalisasi. GRC akan bernilai satu apabila respon yang dinormalisasikan tersebut sesuai dengan kondisi yang ideal. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai tersebut (Lin et al., 2002) adalah:

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_{0,i}(k) + \zeta \Delta_{max}} \tag{6}$$

5. Tahap Fuzzification

Fuzzification merupakan proses perubahan GRC menjadi bilangan *fuzzy* dengan menggunakan fungsi keanggotaan. Bentuk dari fungsi keanggotaan yang digunakan adalah kurva segitiga.

6. Mengaplikasikan Fuzzy Rules

Fuzzy rules merupakan suatu aturan yang menjelaskan hubungan antara *output* dan nilai-nilai tertentu pada masing-masing variabel *input*. Selain itu, *fuzzy rules* juga merupakan alat penarik kesimpulan akan menghasilkan nilai *fuzzy* berdasarkan logika *fuzzy*. *Fuzzy rules* yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. If (MRR is low) and (SR is low) then (GFRG is very small)
2. If (MRR is low) and (SR is medium) then (GFRG is small)
-
-
-
9. If (MRR is high) and (SR is high) then (GFRG is very large).

Dalam penelitian ini fungsi keanggotaan untuk *input* respon laju pengerjaan material (MRR) dan kekasaran permukaan (SR) dibagi menjadi tiga *fuzzy subsets*, yaitu *small* (S), *medium* (M) dan *large* (L). (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.)

7. Defuzzification

Defuzzification merupakan perubahan nilai *fuzzy* menjadi *grey fuzzy reasoning grade* (GFRG) dengan cara melakukan pemetaan himpunan *fuzzy* ke himpunan tegas (*crisp*). Metode yang paling sering digunakan pada proses *defuzzification* adalah metode *Centroid*. Pada metode ini, *defuzzification* dilakukan dengan cara mengambil titik pusat daerah *fuzzy* (z^*). Metode ini dapat dirumuskan sebagai berikut (Lin et al., 2002):

$$z^* = \frac{\int_z z \mu(z) dz}{\int_z \mu(z) dz} \tag{7}$$

Sebagai variabel output dari sistem logika *fuzzy* adalah GFRG yang juga diubah kedalam *linguistic fuzzy subsets* dengan menggunakan fungsi keanggotaan yang berbentuk segitiga (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5). Secara uniform fungsi keanggotaan didefinisikan menjadi lima *fuzzy subsets*, yaitu *very small* (VS), *small* (S), *middle* (M), *large* (L), dan *very large* (VL).

8. Melakukan prediksi GFRG untuk kondisi respon optimal

Nilai prediksi GFRG berdasarkan kombinasi level parameter untuk menghasilkan respon yang optimal dapat dirumuskan sebagai berikut (Lin et al., 2002):

$$\hat{Y} = Y_m + \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_m) \tag{8}$$

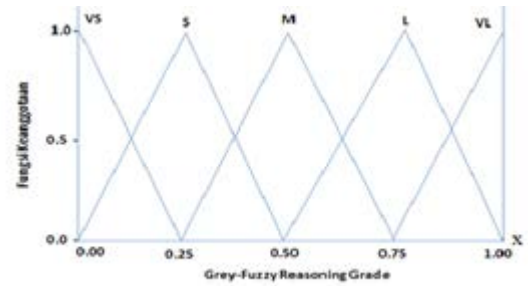
9. Tahap Analisis Variansi (ANAVA)

Analisis variansi (ANAVA) digunakan untuk mengetahui variabel proses yang memiliki pengaruh secara signifikan terhadap respon dan besarnya kontribusi variabel proses terhadap respon. Pada penelitian ini, analisis variansi dilakukan pada GFRG yang merupakan respon yang mewakili keseluruhan respon.

Secara statistik, nilai *F-test* menunjukkan keputusan faktor mana yang mempunyai pengaruh besar terhadap respon. Semakin besar nilai *F-value* mengindikasikan bahwa variasi faktor tersebut akan sangat berpengaruh terhadap nilai respon. Faktor dikatakan berpengaruh secara signifikan terhadap respon ketika mempunyai nilai *F-value* yang lebih besar dibanding $F_{\alpha, v1, v2}$ (nilai dapat dilihat pada tabel statistik).

Persen kontribusi menunjukkan porsi (kekuatan relatif) masing-masing faktor terhadap total variansi yang diamati. Jika persen kontribusi *error* kurang dari lima belas persen, maka tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan tetapi jika persen kontribusi *error* lebih dari lima belas persen mengindikasikan ada faktor yang berpengaruh terabaikan sehingga *error* yang terjadi terlalu besar. Jumlah derajat kebebasan *error* sangat disarankan tidak melebihi dari setengah derajat kebebasan total (Soejanto, 2009). Pada kasus ini, jumlah derajat kebebasan *error*

masih kurang dari lima puluh persen untuk setengah derajat kebebasan dalam matriks ortogonal.



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian berupa nilai laju pengerjaan material dan kekasaran permukaan ditunjukkan pada Tabel 3.

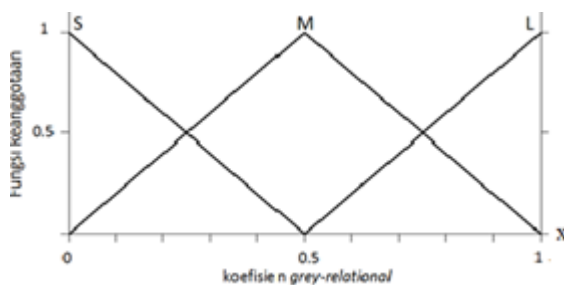
Gambar 5. Fungsi keanggotaan untuk GFRG
Tabel 4. Nilai normalisasi rasio S/N dan *deviation sequence*

Tabel 3. Hasil Percobaan berdasarkan rancangan *Orthogonal array L₂₇*

Exp.	Faktor						MRR		SR	
	A (ON)	B (OV)	C (OFF)	D (SV)	E (WF)	F (FP)	Mean	S/N	Mean	S/N
1	1	1	1	1	1	1	17,27	24,74428	1,608	-4,1238
2	1	1	2	2	2	2	14,37	23,14896	1,788	-5,0860
3	1	1	3	3	3	3	12,87	22,19165	2,056	-6,2702
4	1	2	1	2	2	3	16,05	24,10647	2,153	-6,6760
5	1	2	2	3	3	1	15,09	23,57167	2,151	-6,6536
6	1	2	3	1	1	2	17,61	24,91434	2,238	-7,0000
7	1	3	1	3	3	2	16,44	24,31061	1,981	-5,9497
8	1	3	2	1	1	3	16,90	24,55738	1,958	-5,8537
9	1	3	3	2	2	1	15,24	23,65449	2,244	-7,0266
10	2	1	1	2	3	2	21,42	26,61194	2,392	-7,6187
11	2	1	2	3	1	3	19,84	25,95068	2,113	-6,5083
12	2	1	3	1	2	1	21,42	26,61655	2,232	-6,9760
13	2	2	1	3	1	1	21,63	26,70151	1,735	-4,7884
14	2	2	2	1	2	2	23,97	27,59361	2,252	-7,0505
15	2	2	3	2	3	3	21,22	26,53338	2,389	-7,5731
16	2	3	1	1	2	3	22,11	26,88885	2,481	-7,8922
17	2	3	2	2	3	1	22,07	26,87451	2,136	-6,5929
18	2	3	3	3	1	2	20,84	26,37411	2,377	-7,5447
19	3	1	1	3	2	3	28,19	29,00083	2,407	-7,6286
20	3	1	2	1	3	1	28,89	29,21563	2,796	-8,9333
21	3	1	3	2	1	2	29,05	29,26115	2,658	-8,5096
22	3	2	1	1	3	2	21,81	26,77305	2,632	-8,4081
23	3	2	2	2	1	3	26,52	28,47046	2,438	-7,7418
24	3	2	3	3	2	1	25,06	27,97767	2,813	-8,9850
25	3	3	1	2	1	1	28,29	29,03284	2,769	-8,8495
26	3	3	2	3	2	2	27,60	28,81535	2,547	-8,1287
27	3	3	3	1	3	3	27,41	28,75769	2,998	-9,5513

Exp.	X*(MRR)	X*(SR)	$\Delta_{0.5}$ (MRR)	$\Delta_{0.5}$ (SR)
1	0,3611	1	0,6389	0
2	0,1354	0,8227	0,8646	0,1773
3	0	0,6045	1	0,3955
4	0,2709	0,5298	0,7291	0,4702
5	0,1952	0,5339	0,8048	0,4661
6	0,3851	0,4701	0,6149	0,5299
7	0,2997	0,6636	0,7003	0,3364
8	0,3346	0,6813	0,6654	0,3187
9	0,2069	0,4652	0,7931	0,5348
10	0,6253	0,3561	0,3747	0,6439
11	0,5317	0,5607	0,4683	0,4393
12	0,6259	0,4745	0,3741	0,5255
13	0,6379	0,8776	0,3621	0,1224
14	0,7641	0,4608	0,2359	0,5392
15	0,6141	0,3645	0,3859	0,6355
16	0,6644	0,3057	0,3356	0,6943
17	0,6624	0,5451	0,3376	0,4549
18	0,5916	0,3697	0,4084	0,6303
19	0,9632	0,3542	0,0368	0,6458
20	0,9936	0,1139	0,0064	0,8861
21	1	0,1919	0	0,8081
22	0,6481	0,2106	0,3519	0,7894
23	0,8882	0,3334	0,1118	0,6666
24	0,8184	0,1043	0,1816	0,8957
25	0,9677	0,1293	0,0323	0,8707
26	0,9369	0,2621	0,0631	0,7379
27	0,9288	0	0,0712	1

Tabel 5. Nilai koefisien *grey-relational* dan GFRG



Gambar 4. Fungsi keanggotaan respon MRR dan SR

Exp.	grey relational coefficient		GFRG	Rasio S/N
	MRR	SR		
1	0,4390	1,0000	0,75	-2,4988
2	0,3664	0,7382	0,5389	-5,3698
3	0,3333	0,5584	0,4484	-6,9667
4	0,4068	0,5153	0,4542	-6,8551
5	0,3832	0,5175	0,4442	-7,0484
6	0,4485	0,4855	0,4654	-6,6435
7	0,4166	0,5978	0,5072	-5,8964
8	0,4291	0,6107	0,5199	-5,6816
9	0,3867	0,4832	0,4327	-7,2763
10	0,5716	0,4371	0,5047	-5,9393
11	0,5164	0,5323	0,5229	-5,6316
12	0,5720	0,4876	0,5367	-5,4054
13	0,5800	0,8033	0,6509	-3,7297
14	0,6795	0,4811	0,5824	-4,6956
15	0,5644	0,4403	0,5026	-5,9756
16	0,5984	0,4186	0,5085	-5,8742
17	0,5969	0,5236	0,5596	-5,0424
18	0,5504	0,4424	0,4958	-6,0939
19	0,9314	0,4364	0,6484	-3,7631
20	0,9873	0,3607	0,6599	-3,6104
21	1,0000	0,3822	0,681	-3,3371
22	0,5869	0,3878	0,4878	-6,2352
23	0,8172	0,4286	0,5994	-4,4457
24	0,7336	0,3583	0,5337	-5,4541
25	0,9393	0,3648	0,6239	-4,0977
26	0,8880	0,4039	0,6086	-4,3134
27	0,8753	0,3333	0,5739	-4,8233

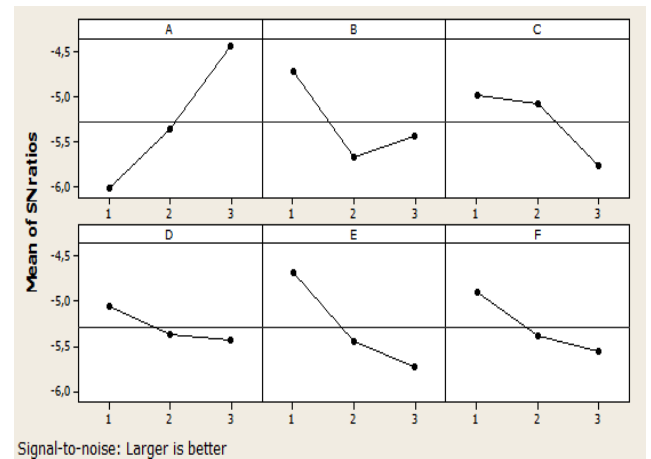
Nilai GFRG ini dianalisis sebagai variabel respon baru (multirespon) yang mewakili variabel laju pengerjaan material dan kekasaran permukaan benda kerja.

Tabel 6. Hasil ANAVA untuk GFRG

Sumber variasi	DF	Sum of square	Mean of Square	F	P-value	% Kontribusi
A	2	11,246	5,623	14,57	0,002	25,86
B	2	4,462	2,2309	5,78	0,028	9,11
C	2	3,288	1,6439	4,26	0,055	6,21
E	2	5,231	2,6156	6,78	0,019	11,01
F	2	2,056	1,028	2,66	0,13	3,17
A*B	4	7,681	1,9204	4,98	0,026	15,15
A*C	4	3,446	0,8616	2,23	0,155	4,7
Error	8	3,088	0,386			24,78
Total	26	40,499				

Hasil ANAVA pada Tabel 6 mengindikasikan bahwa faktor *on time*, *open voltage*, *off time*, *wire feed* dan *flushing pressure* mempengaruhi multirespon karakteristik kualitas. *On time* memiliki pengaruh yang terbesar, yaitu sebesar 25,86%. Peringkat kedua dimiliki oleh *wire feed* dengan persen kontribusi sebesar 11,01%, *open voltage* memiliki kontribusi sebesar 9,11%, *off time* dan *flushing pressure* memiliki kontribusi sebesar 6,21% dan 3,17%. Nilai F lima faktor lebih besar dibanding F_{α, v_1, v_2} , yang berarti variasi dari lima faktor sangat mempengaruhi kedua respon.

Analisa secara serentak menyatakan bahwa seting untuk mendapatkan respon MRR dan kekasaran permukaan yang optimal adalah sesuai dengan Gambar 6, yaitu saat faktor A diatur pada level 3 (0.8 μ s), faktor B pada level 1 (75 volt), faktor C pada level 1 (10 μ s), faktor D pada level 1 (30 volt), faktor E pada level 1 (8 mm/s) dan faktor F pada level 1 (5 kg/cm²).



Gambar 6. Plot seting kombinasi faktor untuk respon optimal

Perhitungan rata-rata nilai GFRG pada masing-masing level dari variabel proses ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rata-rata nilai GFRG untuk setiap level variabel proses

Faktor	level 1	level 2	level 3	Delta
A	0,5068	0,5405	0,6018	0,0951
B	0,5879	0,5245	0,5367	0,0634
C	0,5706	0,5595	0,5189	0,0517
D	0,5649	0,5441	0,54	0,0249
E	0,5899	0,5382	0,5209	0,069
F	0,5768	0,5413	0,5309	0,0459

4.1 Eksperimen Konfirmasi

Seting faktor untuk kondisi optimal telah didapatkan dan langkah akhir dalam eksperimen adalah melakukan eksperimen konfirmasi sesuai dengan level dan seting yang telah didapatkan, yaitu A₃B₁C₁D₁E₁F₁. Berdasarkan nilai-nilai respon yang didapat dari eksperimen konfirmasi dilakukan perhitungan rasio S/N untuk masing-masing respon. Perbandingan rasio S/N pada kombinasi awal dan kombinasi faktor optimum hasil eksperimen konfirmasi ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8 menunjukkan bahwa nilai GFRG berdasarkan eksperimen konfirmasi besarnya adalah 0,583 dan nilai GFRG pada kombinasi awal adalah sebesar 0,444, sehingga nilai GFRG berdasarkan eksperimen konfirmasi mengalami peningkatan sebesar 31,37 % dibandingkan dengan nilai GFRG pada kombinasi awal.

Tabel 8. Hasil eksperimen konfirmasi

	Kombinasi awal	Kombinasi optimum	
		Prediksi	Eksperimen
Setting level pada faktor	A ₂ B ₂ C ₂ D ₂ E ₂ F ₂	A ₃ B ₁ C ₁ D ₁ E ₁ F ₁	A ₃ B ₁ C ₁ D ₁ E ₁ F ₁
Laju pengerjaan material (mm ³ /min)	17,89		20,49
kekasaran permukaan (μs)	2,51		1,91
Rasio S/N MRR	25,0518		26, 2268
Rasio S/N SR	-7, 9840		-5,6123
GFRG	0,444	0,715	0,583
Peningkatan GFRG	31,37%		
peningkatan Rasio S/N MRR	4,70%		
peningkatan Rasio S/N MRR	42,26%		

Karakteristik kualitas semakin besar semakin baik dari respon laju pengerjaan material telah terpenuhi, dan karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik dari respon kekasaran permukaan juga telah terpenuhi. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan nilai dari masing-masing respon tersebut pada kombinasi optimum. Besarnya kenaikan pada laju pengerjaan material adalah 14,53% dan besarnya penurunan pada respon kekasaran permukaan adalah 23,89%. Hal ini menunjukkan bahwa optimasi dengan menggunakan metode Taguchi *grey fuzzy*, karakteristik kualitas dari proses WEDM dapat meningkat secara signifikan.

5. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa besarnya laju pengerjaan material dan kekasaran permukaan benda kerja hasil pemotongan WEDM sangat dipengaruhi oleh variabel proses *on time*, *off time*, dan *wire feed*. Penelitian ini menghasilkan pengaturan variabel-variabel proses yang tepat agar dapat menghasilkan MRR yang maksimal dan kekasaran permukaan benda kerja yang minimal. Hasil tersebut diperoleh pada pengaturan variabel *on time* 0.8 μs, *open voltage* 75 volt, *off time* 10 μs, *servo voltage* 30 volt, *wire feed* 8 mm/s dan *flushing pressure* 5 kg/cm². MRR yang tinggi menyebabkan proses berjalan lebih cepat yang berpengaruh terhadap waktu penyelesaian produk, sehingga akan mengurangi biaya produksi. Nilai kekasaran permukaan yang rendah mendukung tercapainya kinerja yang diinginkan pada proses pengerjaan benda kerja dengan menggunakan WEDM.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah banyak membantu atas selesainya makalah ini, terutama kepada Laboratorium Proses Manufaktur Jurusan Teknik Mesin FTI ITS yang telah membantu menyediakan material dan fasilitas pada penelitian ini.

NOMENKLATUR

$\max_{\forall k} X_i(k)$ = nilai terbesar dari $X_i(k)$

$\min_{\forall k} X_i(k)$ = nilai terkecil dari $X_i(k)$

$X_{ob}(k)$ = nilai target dari $X_i(k)$

Δ_{min} = $\min_i \min_k \Delta_{0,i}(k)$

Δ_{max} = $\max_i \max_k \Delta_{0,i}(k)$

ξ_i = *distinguish coefficient*

Y_m = nilai rata-rata dari keseluruhan GFRG

Y_i = rata-rata GFRG pada level optimal

o = jumlah parameter yang mempengaruhi respon secara signifikan

Referensi

- [1] Fong, T. Y. and Chen, C. F., Multi-objective optimisation on high-speed electrical discharge machining process using Taguchi fuzzy-based approach, *Journal of Materials and Design*, Vol. 28, pp. 1159-1168 (2007).
- [2] Lin, C.L., Lin, J.L., and Ko, T.C., Optimisation of the EDM Process Based on the Orthogonal Array with Fuzzy Logic and Grey Relational Analysis Method, *The International Jurnal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 19, pp. 271-277 (2002).
- [3] Mahapatra, S. S. and Datta, S., Modeling simulation and parametric optimization of wire EDM process using response surface methodology coupled with grey-Taguchi technique, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 2, pp. 162–183 (2010).
- [4] Puri, Y.M. and Deshpande, N.V., Simultaneous Optimization of Multiple Quality Characteristics of WEDM Based on Fuzzy Logic and Taguchi Technique, *Proceedings of the Fifth Asia Pacific*

Industrial Engineering and Management Systems
Conference, pp. 14.18.1-14.18.12 (2004).

- [5] Soejanto, I. Desain Eksperimen dengan Metode
Taguchi. Graha Ilmu, Yogyakarta (2009).