

OPTIMASI KETEBALAN LAPISAN RECAST, KEKASARAN PERMUKAAN DAN LAJU Pengerjaan MATERIAL PADA PROSES PEMESINAN WIRE-EDM MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI-GREY FUZZY

Pathya Rupajati

Program Studi Teknik Mesin
Institut Teknologi Indonesia
Email: pathya.rupajati@iti.ac.id

Perak Samosir

Program Studi Teknik Mesin
Institut Teknologi Indonesia
Email: samosirperak@iti.ac.id

M. Kurniadi Rasyid

Program Studi Teknik Mesin
Institut Teknologi Indonesia
Email: kurniadirasyid@gmail.com

ABSTRAK

Proses *wire-electrical discharge machining* (*wire-EDM*) sering digunakan dalam industri manufaktur. Parameter pemesinan yang terdapat dalam *wire-EDM* di antaranya, *arc on time*, *on time*, *servo voltage* dan *wire feed*. Pengaturan level yang tidak tepat dalam proses ini akan menyebabkan lapisan *recast* dan kekasaran permukaan yang tinggi serta laju pengerjaan material yang rendah. Metode optimasi Taguchi dikombinasikan dengan *grey fuzzy* merupakan metode yang digunakan dalam penelitian ini. Rancangan perobaan pada penelitian ini menggunakan matriks *orthogonal array* L_9 karena memvariasikan empat parameter proses pemesinan dengan masing-masing menggunakan tiga level. Replikasi pada eksperimen ini dilakukan sebanyak dua kali. Karakteristik kualitas respon untuk tebal lapisan *recast* dan kekasaran permukaan adalah semakin kecil semakin baik, sedangkan untuk laju pengerjaan material adalah semakin tinggi semakin baik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *wire feed* dan *on time* merupakan parameter proses yang paling signifikan dalam menghasilkan multirespon yang optimal. Hasil kombinasi parameter proses yang menghasilkan kualitas respon yang optimal adalah *arc on time* diseting pada 3 A, *on time* diseting pada 8 μ s, *servo voltage* diseting pada 100 V dan *wire feed* diseting pada 60 mm/min.

Kata kunci: *wire-EDM*; lapisan *recast*; taguchi; *grey fuzzy*.

ABSTRACT

The *wire-electrical discharge machining* (*wire-EDM*) process is the most used in manufacturing industries. Machining parameters in *wire-EDM* include, *on time*, *on time*, *voltage servo* and *wire feed*. Inappropriate level settings in this process will affect a high *recast* layer and surface roughness and low material removal rate. Taguchi optimization method combined with *grey fuzzy* is the method used in this study. Since each machining parameters had three levels, the experiment design used L_9 orthogonal array with three replications. The quality characteristics response for the *recast* layer thickness (RLT) and surface roughness (SR) are smaller the better, while for the material removal rate (MRR) is the higher the better. Experiment result shown that *wire feed* and *on time* are the most significant parameters to produce optimal multiresponse. The result of a combination of process parameters that produces optimal quality response is the *arc on time* set at 3 A, the *on time* is set at 8 μ s, the *servo voltage* is set at 100 V and the *wire feed* is set at 60 mm / min.

Keywords: *wire-EDM*; *recast* layer; taguchi; *grey fuzzy*.

1. PENDAHULUAN

Salah satu proses pemesinan non konvensional yang paling banyak digunakan dalam industri manufaktur adalah *wire electrical discharge machining*. *Wire-EDM* merupakan proses termoelektrik yang

mengikis material yang berasal percikan bunga api antara benda kerja dengan elektroda [1]. Karakteristik kualitas pada proses *wire*-EDM yang biasa digunakan adalah ketebalan lapisan *recast* (RLT), kekasaran permukaan (SR) dan laju pengerjaan material (MRR). Karakteristik kualitas tersebut mempunyai peranan penting serta menjadi indikator terhadap kualitas pemesinan. Material AISI O1 merupakan baja dengan konduktivitas tinggi yang memiliki kadar karbon antara 0,9-0,95%. Material ini memiliki ketangguhan dan *machinability* yang baik [2]. Aplikasi dari material ini sering kali digunakan untuk *cutting tool*, *punch* dan *dies*. Pembuatan pahat potong dari material baja AISI O1 dengan proses *wire*-EDM harus dilakukan sebaik mungkin agar menghasilkan lebar pemotongan (*kerf*) yang sempit, kekasaran permukaan yang rendah, dan tebal lapisan *recast* yang tipis. Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai optimasi proses pemesinan *wire* EDM. Parameter pemesinan seperti *wire speed* meningkatkan kekasaran permukaan. Parameter proses seperti *pulse on time* [3] dapat menyebabkan energi lebih tinggi. Hal ini mengakibatkan laju pengerjaan material semakin meningkat. R.Bobbili, et al [4] menjelaskan bahwa *pulse on time*, *peak current* dan *spark gap* merupakan parameter proses *wire*-EDM yang signifikan dalam mengoptimalkan laju pengerjaan material, kekasaran permukaan dan *gap current*. Yigit, et al [5] melakukan optimasi pada proses bubut dengan menggunakan metode Taguchi dikombinasikan *grey relational analysis*. Parameter proses bubut yang divariasikan adalah kecepatan potong, kecepatan makan dan kedalaman pemotongan. Karakteristik kualitas yang diamati adalah kekasaran permukaan dan laju pengerjaan material. Penelitian tersebut membuktikan bahwa metode optimasi Taguchi *grey* dapat mengoptimalkan nilai kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan secara serentak. S. Nain, et al [6] mengembangkan pemodelan dan optimasi variabel proses *wire-cut* EDM pada material *super alloy* Udimet-L605 menggunakan metode Taguchi. Penelitian tersebut menyebutkan bahwa *pulse on time* merupakan variabel proses yang paling signifikan yang mempengaruhi kekasaran permukaan benda kerja dan laju pengerjaan material. A. Goswami, et al [7] meneliti mengenai optimasi *wire-cut* EDM pada Nimonic-80A menggunakan pendekatan Taguchi dan *utility concept*.

Berasarkan hal-hal yang telah dijelaskan, penting dilakukan penelitian mengenai pengaturan level parameter pemesinan *wire*-EDM untuk menghasilkan tebal lapisan *recast*, kekasaran permukaan dan laju pengerjaan material yang optimal. Metode optimasi Taguchi *grey fuzzy* digunakan pada penelitian ini untuk menghasilkan optimasi yang optimal secara serentak. Berdasarkan metode Taguchi *orthogonal array* L₉, penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan empat parameter proses pemesinan, yaitu *arc on time*, *on time*, *servo voltage* dan *wire feed*, dengan masing-masing terdiri dari tiga level.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Peralatan dan Bahan Eksperimen

Proses pemotongan yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan mesin *wire*-EDM dengan tipe CHMER 32GS yang ditunjukkan pada Gambar 1. Material baja AISI O1 dengan dimensi 300 mm x 130 mm x 40 mm merupakan material yang diteliti dalam penelitian ini. Material tersebut memiliki kekerasan 52-57 HRC, sedangkan elektroda kawat yang digunakan adalah berbahan kuningan yang memiliki diameter 0,25 mm. Untuk mengukur tebal *lapisan* menggunakan mikroskop optik. Mitutoyo *surfiness* 307 digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan benda kerja.



Gambar 1. Mesin wire-EDM CHMER 32GS

2.2 Rancangan Eksperimen

Parameter pemesinan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *arc on time*, *on time*, *servo voltage* dan *wire feed* dengan menggunakan metode Taguchi matriks ortogonal L_9 (3^4) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Eksperimen ini menggunakan replikasi sebanyak dua kali. Karakteristik repon yang diteliti adalah ketebalan lapisan *recast*, kekasaran permukaan dan laju pengerjaan material.

Tabel 1. Parameter pemesinan beserta pengaturan levelnya

<i>Parameter Pemesinan</i>	<i>Level 1</i>	<i>Level 2</i>	<i>Level 3</i>
<i>Arc on time</i> (A)	2	3	4
<i>On time</i> (μ s)	4	6	8
<i>Servo voltage</i> (V)	80	90	100
<i>Wire Feed</i> (mm/min)	45	60	75

Tabel 2. Rancangan eksperimen matriks ortogonal L_9

<i>No. Eksp</i>	<i>AN</i>	<i>ON</i>	<i>SV</i>	<i>WF</i>
1	2	5	37	3
2	2	7	55	7
3	2	8	70	12
4	4	5	55	12
5	4	7	70	3
6	4	8	37	7
7	5	5	70	7
8	5	7	37	12
9	5	8	55	3

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Rasio S/N (Signal To Noise) untuk Masing-Masing Respon

Tabel 3 menunjukkan hasil eksperimen tebal lapisan *recast*, kekasaran permukaan dan laju pengerjaan material beserta rasio S/N pada ketiga respon tersebut. Rasio S/N digunakan untuk memilih nilai level parameter terbesar untuk mendapatkan nilai optimal dari karakteristik kualitas respon dari eksperimen. Perhitungan nilai rasio S/N tergantung dari jenis karakteristik kualitas dari masing-masing respon yang dihasilkan, yaitu sebagai berikut:

- a. Rasio S/N semakin kecil semakin baik

Karakteristik kualitas yang dimiliki oleh respon ketebalan lapisan *recast* dan kekasaran

permukaan adalah semakin kecil semakin baik dengan persamaan 1 sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \quad (1)$$

b. Rasio S/N semakin besar, maka semakin baik.

Karakteristik kualitas laju pengerjaan material adalah dengan persamaan 2 sebagai berikut:

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

Tabel 3. Hasil eksperimen dan rasio S/N untuk masing-masing respon

No. Exp	AN	ON	SV	WF	Tebal lapisan recast (µm)	S/N Tebal Lapisan recast	Laju pengerjaan material (mm ³ /min)	S/N Laju pengerjaan material	Kekasaran Permukaan (µm)	S/N Kekasaran permukaan
1	2	5	37	3	1,89	-5,529	10,209	20,179	2,75	-8,798
2	2	7	55	7	2,47	-7,854	12,728	22,095	2,52	-8,0281
3	2	8	70	12	3,05	-9,686	8,213	18,29	2,49	-7,9124
4	4	5	55	12	2,12	-6,527	9,913	19,924	2,6	-8,299
5	4	7	70	3	2,33	-7,347	7,747	17,782	2,86	-9,127
6	4	8	37	7	2,76	-8,818	14,853	23,437	2,51	-8,005
7	5	5	70	7	2,91	-9,278	6,133	15,753	2,69	-8,585
8	5	7	37	12	2,81	-8,974	13,013	22,287	2,45	-7,772
9	5	8	55	3	2,73	-8,723	10,575	20,485	2,47	-7,842

3.2 Optimasi Grey Fuzzy

Berikut ini merupakan tahapan untuk melakukan optimasi dengan menggunakan *grey fuzzy* [8]:

3.2.1 Normalisasi Data Untuk Masing-Masing Respon

Setelah mendapatkan nilai rasio S/N dari masing-masing respon, selanjutnya dilakukan normalisasi data pada ketiga respon tersebut. Nilai rasio S/N dinormalkan menjadi nilai yang besarnya antara 0 dan 1. Persamaan 3 merupakan proses untuk melakukan normalisasi rasio S/N pada tebal lapisan *recast* dan kekasaran permukaan, sedangkan persamaan 4 merupakan proses normalisasi rasio S/N pada laju pengerjaan material.

$$X_i^*(k) = \frac{\max X_i(k) - X_i(k)}{\max X_i(k) - \min X_i(k)} \quad (3)$$

$$X_i^*(k) = \frac{X_i(k) - \min X_i(k)}{\max X_i(k) - \min X_i(k)} \quad (4)$$

3.2.2 Menentukan Deviation Sequence

Kemudian setelah melakukan normalisasi rasio S/N, langkah selanjutnya adalah menentukan deviation sequence $\Delta_{0,i}(k)$. Deviation sequence merupakan selisih absolut antara nilai maksimum hasil normalisasi yang besarnya 1 dengan data yang telah dinormalisasi [8]. Untuk menentukan deviation sequence digunakan persamaan 5. Hasil dari normalisasi data rasio S/N dan deviation sequence untuk masing-masing respon ditunjukkan pada Tabel 4.

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

Tabel 4. Nilai normalisasi rasio S/N dan deviation sequence untuk masing-masing respon

No. Exp	Normaliasasi			Deviation Sequence		
	ξ_i^*SR	ξ_i^*MRR	ξ_i^*RLT	ΔSR	ΔMRR	ΔRLT
1	0,7565	0,5761	0,000	0,2435	0,4239	1,000
2	0,1892	0,8255	0,559	0,8108	0,1745	0,441
3	0,1039	0,3302	1,000	0,8961	0,6698	0,000
4	0,3894	0,5429	0,240	0,6106	0,4571	0,760
5	1,0000	0,2641	0,437	0,0000	0,7359	0,563
6	0,1722	1,000	0,791	0,8278	0,000	0,209
7	0,5995	0,000	0,902	0,4005	1,000	0,098
8	0,0000	0,8504	0,829	1,0000	0,1496	0,171
9	0,0522	0,6159	0,768	0,9478	0,3841	0,232

3.2.3 Menghitung Grey Relational Coefficient (Grc)

Tahap selanjutnya setelah menentukan *deviation sequence* adalah menentukan *grey relational coefficient* ($\xi_i(k)$) atau GRC [8]. GRC menunjukkan hubungan antara kondisi yang ideal (terbaik) dengan kondisi aktual dari respon yang dinormalisasi. GRC akan bernilai satu apabila respon yang dinormalisasi tersebut sesuai dengan kondisi yang ideal. Untuk mendapatkan nilai GRC digunakan persamaan 6.

$$\xi(k) = \frac{\Delta_{min} + \xi \Delta_{max}}{\Delta_{0,i}(k) + \xi \Delta_{max}} \quad (6)$$

3.2.4 Melakukan Proses Fuzzification

Fuzzification merupakan proses perubahan nilai GRC menjadi bilangan *fuzzy* dengan menggunakan fungsi (derajat) keanggotaan. Bentuk dari fungsi keanggotaan ini adalah kurva segitiga. Fungsi keanggotaan atau sering disebut juga derajat keanggotaan menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya. Fungsi keanggotaan untuk input respon ketebalan lapisan *recast* (RLT), kekasaran permukaan (SR) dan laju pengerjaan material (MRR), yaitu *small* (S), *medium* (M), dan *large* (L), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 (a). Langkah untuk melakukan proses *fuzzification* adalah sebagai berikut [8]:

a) Membuat aturan *fuzzy*

Aturan *fuzzy* merupakan suatu aturan yang menjelaskan hubungan antara *output* dan nilai-nilai tertentu pada masing-masing variabel input. Selain itu, sebagai alat penarik kesimpulan nilai *fuzzy* berdasarkan logika *fuzzy*. Berikut ini merupakan 27 aturan *fuzzy* yang digunakan dalam penelitian ini:

1. *If (RLT is small), (SR is small) and (MRR is small), then (GFRG is tiny).*
2. *If (RLT is small), (SR is small), and (MRR is medium), then (GFRG is very small).*
3. *If (RLT is small), (SR is small), and (MRR is large), then (GFRG is small)*
4. *If (RLT is small), (SR is medium), and (MRR is small), then (GFRG is small)*
5. *If (RLT is small), (SR is medium), and (MRR is medium), then (GFRG is small medium)*
6. *If (RLT is small), (SR is medium), and (MRR is large), then (GFRG is medium)*
7. *If (RLT is small), (SR is large), and (MRR is small), then (GFRG is small)*
8. *If (RLT is small), (SR is large), and (MRR is small), then (GFRG is small medium)*
9. *If (RLT is small), (SR is large), and (MRR is large), then (GFRG is medium)*
10. *If (RLT is medium), (SR is small), and (MRR is small), then (GFRG is very small)*
11. *If (RLT is medium), (SR is small, and (MRR is medium), then (GFRG is small medium)*
12. *If (RLT is medium), (SR is small), and (MRR is large), then (GFRG is medium)*
13. *If (RLT is medium), (SR is medium), and (MRR is small), then (GFRG is small medium)*
14. *If (RLT is medium), (SR is medium), and (MRR is medium), then (GFRG is medium)*
15. *If (RLT is medium), (SR is medium), and (MRR is large), then (GFRG is large medium)*
16. *If (RLT is medium), (SR is large), and (MRR is small), then (GFRG is small medium)*
17. *If (RLT is medium), (SR is large), and (MRR is medium), then (GFRG is large medium)*
18. *If (RLT is medium), (SR is large), and (MRR is large), then (GFRG is very large)*
19. *If (RLT is large), (SR is small), and (MRR is small), then (GFRG is small)*
20. *If (RLT is large), (SR is small), and (MRR is medium), then (GFRG is small medium)*
21. *If (RLT is large), (SR is small), and (MRR is large), then (GFRG is medium)*
22. *If (RLT is large), (SR is medium), and (MRR is small), then (GFRG is medium)*

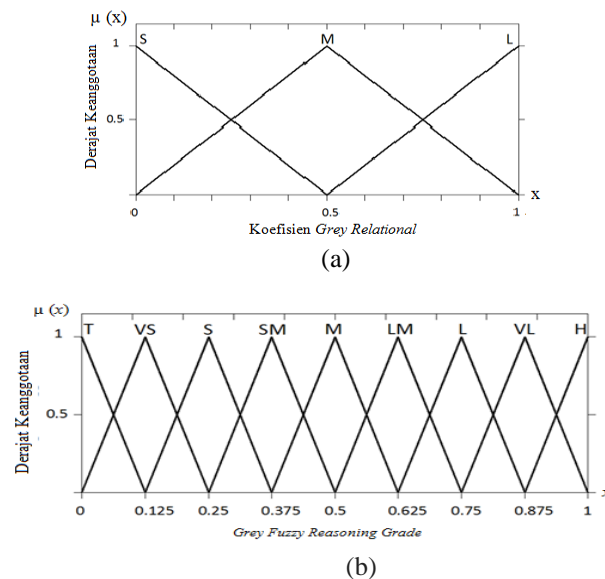
23. If (RLT is large), (SR is medium), and (MRR is medium), then (GFRG is large medium)
24. If (RLT is large), (SR is medium), and (MRR is large), then (GFRG is large)
25. If (RLT is large), (SR is large), and (MRR is small), then (GFRG is medium)
26. If (RLT is large), (SR is large), and (MRR is medium), then (GFRG is large)
27. If (RLT is large), (SR is large), and MRR is large), then (GFRG is huge).

b) Defuzzification

Defuzzification merupakan proses perubahan nilai fuzzy menjadi grey fuzzy reasoning grade (GFRG) dengan cara melakukan pemetaan himpunan fuzzy ke himpunan tegas (crisp) [8]. Metode centroid adalah metode yang sering digunakan pada proses defuzzification. Metode ini, defuzzification dilakukan dengan cara mengambil titik pusat daerah fuzzy (y_0) dengan menggunakan persamaan 7.

$$y_0 = \frac{\sum y\mu_Z(y)}{\sum \mu_Z(y)} \tag{7}$$

Variabel output dari sistem logika fuzzy pada penelitian ini adalah grey fuzzy reasoning grade (GFRG) yang diubah ke dalam linguistics fuzzy subsets dengan menggunakan fungsi keanggotaan yang berbentuk segitiga. Fungsi keanggotaan untuk variabel output dibagi menjadi sembilan fuzzy subsets, yaitu tiny (T), very small (VS), small (S), Small Medium (SM), Medium (M), Large (L), Large Medium (LM), very large (VL) dan huge (H). Grafik fungsi keanggotaan untuk tebal lapisan recast, kekasaran permukaan dan laju pengerjaan material ditunjukkan pada Gambar 2a, sedangkan grafik fungsi keanggotaan untuk grey fuzzy reasoning grade (GFRG) ditunjukkan pada Gambar 2b. Tabel 5 menunjukkan nilai dari grey relational coefficient (GRC) dan GFRG.



Gambar 2 (a). Derajat Keanggotaan SR, MRR dan RLT; (b) Derajat Keanggotaan GFRG

Tabel 5. Grey relational coefficient (GRC) dan GFRG

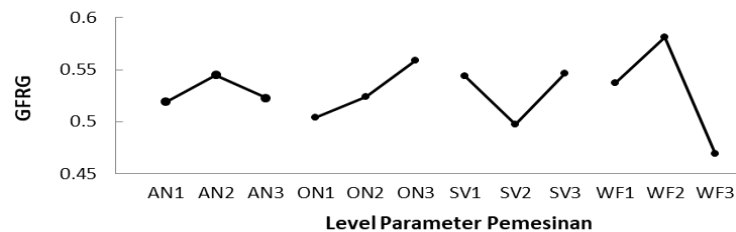
No. Exp	GRC			GFRG
	SR	MRR	RLT	
1	0,6725	0,5412	0,3333	0,5164
2	0,3814	0,7412	0,5315	0,5352
3	0,3581	0,4274	1,0000	0,5064
4	0,4502	0,5224	0,3968	0,4290
5	1,0000	0,4046	0,4705	0,5645
6	0,3766	1,00000	0,7054	0,6412
7	0,5552	0,3333	0,8359	0,5678
8	0,3333	0,7697	0,7449	0,4732
9	0,3453	0,5656	0,6834	0,5290

c) Analisis Variansi (ANAVA) dan Persen Kontribusi

Tabel 6 dan Gambar 3 menunjukkan rata-rata keseluruhan untuk GFRG dan juga seting optimum untuk parameter *arc on time* diatur pada level 2, *on time* pada level 3, *servo voltage* pada level 3, dan *wire feed* pada level 2. Analisis variansi (ANAVA) digunakan untuk mengetahui variabel yang memiliki pengaruh secara signifikan terhadap respon dan besarnya kontribusi parameter pemesinan terhadap karakteristik kualitas respon [8, 9]. Karena terdapat perbedaan yang sangat kecil antara tebal lapisan recast, kekasaran permukaan dan laju pengerjaan material, tidak ada *single* parameter proses yang dapat diintegrasikan sebagai parameter proses pemesinan yang tidak berpengaruh. Dengan demikian, Tabel ANAVA menghitung langsung proporsi setiap jumlah kuadrat dari *sum of square* faktor sebagai jumlah kuadrat dari *sum of square total* (SS total) [10]. Tabel ANAVA untuk GFRG pada proses *wire EDM* Baja AISI O1 ditunjukkan pada Tabel 7. Berdasarkan persentase kontribusi, secara berurutan, parameter pemesinan yang paling berpengaruh terhadap karakteristik kualitas respon adalah *wire feed*, *on time*, *servo voltage*, dan *arc on time*.

Table 6. Tabel respon nilai rata-rata GFRG

<i>Parameter Pemesinan</i>	<i>level 1</i>	<i>level 2</i>	<i>level 3</i>
<i>Arc on time</i> (A)	0,519	0,545	0,523
<i>On time</i> (µs)	0,504	0,524	0,559
<i>Servo voltage</i> (V)	0,544	0,497	0,546
<i>Wire Feed</i> (mm/min)	0,537	0,581	0,469



Gambar 3. Grafik grey fuzzy reasoning grade (GFRG)

Table 7. Analisis variansi (ANAVA) GFRG

<i>Parameter Pemesinan</i>	<i>DF</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>%kontribusi</i>
<i>Arc on time</i>	2	0,00114	0,079	*	3,89
<i>On time</i>	2	0,00456	0,6167	*	15,61
<i>Servo voltage</i>	2	0,00443	0,629	*	15,17
<i>Wire Feed</i>	2	0,019	2,632	*	65,07
Residual Error	0	*	*		
Total	8	0,0292			

d) Eksperimen konfirmasi

Setelah seting level parameter pemesinan pada kondisi optimal dipilih, tahap terakhir adalah melakukan prediksi dan verifikasi menggunakan seting level parameter pemesinan berdasarkan kondisi optimal. Nilai GFRG pada kondisi optimal dihitung melalui persamaan 8 [11].

$$y_e = y_m + \sum_{i=1}^q (\bar{y}_i - \gamma_m) \tag{8}$$

Dimana γ_m adalah total rata-rata GFRG; q adalah nilai variabel input parameter pemesinan; \bar{y}_i adalah nilai GFRG pada level optimal. Tabel 8 menunjukkan hasil dari konfirmasi eksperimen menggunakan level pada kondisi optimal dan juga perbandingan multi respon pada kondisi awal dan kondisi optimal. Berdasarkan Tabel 8, tebal lapisan *recast* mengalami penurunan dari 3,01 µm menjadi 1,92 µm, kekasaran permukaan juga mengalami penurunan dari 2,79 µm menjadi 2,46 µm, sedangkan laju pengerjaan material mengalami peningkatan dari 9,131 µm menjadi 13,989 µm.

Tabel 8. Hasil konfrimasi eksperimen

	<i>Kondisi awal</i>	<i>Kondisi Optimal</i>		<i>Keterangan</i>
		Prediksi	Eksperimen	
Pengaturan level parameter pemesinan	AN ₂ ON ₁ SV ₂ WF ₁	AN ₂ ON ₃ SV ₃ WF ₂	AN ₂ ON ₃ SV ₃ WF ₂	
Tebal lapisan <i>recast</i> (µm)	3,01		1,92	Menurun 36,21%
Kekasaran permukaan (µm)	2,79		2,46	Menurun 11,82 %
Laju Pengerjaan Material (mm ³ /min)	9,131		13,989	Meningkat 53,20%
GFRG	0,4302	0,6438	0,7205	Meningkat 67,40%

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi menggunakan metode Taguchi-grey fuzzy mampu mengoptimalkan kualitas multi respon karakteristik pada proses pemesinan wire EDM baja AISI O1. Kontribusi dari parameter proses pemesinan yang paling signifikan dalam mengoptimalkan multi respon secara serentak adalah *wire feed* dan *on time*. Seting kombinasi parameter pemesinan seperti *arc on time* yang diseting pada level 2, *on time* pada level 3, *servo voltage* pada level 3 dan *wire feed* pada level 2 dapat memberikan nilai respon yang paling optimal untuk tebal lapisan *recast*, kekasaran permukaan dan laju pengerjaan material secara serentak. Hal ini ditunjukkan tebal lapisan *recast* mengalami penurunan sebesar 36,21%, kekasaran permukaan menurun sebesar 11,82% dan laju pengerjaan material mengalami kenaikan sebesar 53,20%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kemristek DIKTI yang telah memberikan dana hibah peneliti dosen pemula melalui surat keputusan nomor 0045/E3/LL/2016 dan surat keputusan 39/KP/LPKT-ITI/III/2018, Institut Teknologi Indonesia dan penulis juga mengucapkan terima kasih kepada BPPT BT MEPPPO dan Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Williams, R. E. and Rajurkar, K. P. 1991. "Study of wire electrical discharge machined surface characteristics," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 28, no. 1, pp. 127-138.
- [2] Kalpakjian, S. and Schmid, S. R. (2008). *Manufacturing Processes for Engineering Materials*. Pearson Education.
- [3] Yang, R. T., Tzeng, C. J., Yang, Y. K., and Hsieh, M. H. 2012. "Optimization of wire electrical discharge machining process parameters for cutting tungsten," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 60, no. 1, pp. 135-147.
- [4] Bobbili, R., Madhu, V., and Gogia, A. K. 2015. "Multi response optimization of wire-EDM process parameters of ballistic grade aluminium alloy," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 18, no. 4, pp. 720-726.
- [5] Kazançoğlu, Y., Esmé, U., Bayramoğlu, M., Guven, O., and Ozgun, S. 2011. "Multi-objective optimization of the cutting forces in turning operations using the Grey-based Taguchi method," *Materiali in Tehnologije*, vol. 45, pp. 105-110.
- [6] Nain, S. S., Garg, D., and Kumar, S. 2017. "Modeling and optimization of process variables of wire-cut electric discharge machining of super alloy Udimet-L605," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 20, no. 1, pp. 247-264.
- [7] Goswami, A. and Kumar, J. 2014. "Optimization in wire-cut EDM of Nimonic-80A using Taguchi's approach and utility concept," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 17, no. 4, pp. 236-246.
- [8] Zimmermann, H.-J. (2001). *Fuzzy Set Theory – and Its Applications*. New York: Springer Science & Business Media.
- [9] Montgomery, D. C. (2008). *Design and Analysis of Experiments (Design and Analysis of Experiments)*. John Wiley & Sons.
- [10] Huang, J. T. and Liao, Y.-S. 2003. "Optimization of machining parameters of Wire-EDM based on Grey relational and statistical analyses," *International Journal of Production Research*, vol. 41, pp. 1707-1720.
- [11] Ross, P. J. (2005). *Taguchi techniques for quality engineering: loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design*. New York: McGraw-Hill.