

Penerapan Pendekatan Gabungan *Grey Relational Analysis* (GRA) dan *Principal Component Analysis* (PCA) Pada Metode Taguchi Multirespon

Nur Aprilia Rahmadani, Sony Sunaryo dan Muhammad Sjahid Akbar
Jurusan Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: sonny_s@statistika.its.ac.id

Abstrak—Kualitas didefinisikan sebagai kesesuaian spesifikasi produk dengan rancangan yang telah ditetapkan. Sering kali terjadi kualitas yang diharapkan tidak sesuai dengan kenyataan, tetapi jika pengaturan kualitas dapat dilakukan sedini mungkin, maka spesifikasi yang diharapkan akan diperoleh. Sejak awal sangat diperlukan optimasi proses dengan cara pengaturan alat dan metode yang optimal. Pada penelitian ini, untuk mengatasi permasalahan optimasi multirespon akan dilakukan analisis dengan menggunakan metode penggabungan antara *Grey Relational Analysis* (GRA) dan *Principal Component Analysis* (PCA). Data yang digunakan berasal dari penelitian Garg (2010) dengan judul “Pengaruh Parameter Proses Pada Pengukuran Kinerja Wire-EDM. Hasil analisis menggunakan metode gabungan GRA dan PCA menjelaskan bahwa kombinasi optimal dari parameter proses yaitu $A_3B_1C_1D_3E_2F_3$. Respon dengan karakteristik *Larger The Better* (Laju Pemotongan dan Arus Kesenjangan) pada metode gabungan GRA dan PCA menghasilkan nilai prediksi yang lebih baik dibandingkan dengan metode Fungsi *Utility* dan *Fuzzy Logic*. Respon dengan karakteristik *Smaller The Better* (Kekasaran Permukaan dan Penyimpangan Dimensi) pada metode Fungsi *Utility* dan *Fuzzy Logic* menghasilkan nilai prediksi yang lebih baik dibandingkan dengan metode gabungan GRA dan PCA.

Kata Kunci—Wire-EDM, Optimasi Multirespon, GRA, PCA

I. PENDAHULUAN

KUALITAS dapat didefinisikan sebagai kesesuaian spesifikasi produk dengan rancangan yang telah ditetapkan. Sering kali terjadi kualitas yang diharapkan tidak sesuai dengan kenyataan. Hal ini dapat terjadi karena pengaturan dari input-input yang diberikan tidak optimal. Jika pengaturan kualitas dapat dilakukan sedini mungkin, maka spesifikasi yang diharapkan akan diperoleh. Sejak awal sangat diperlukan optimasi proses dengan cara pengaturan alat dan metode yang optimal [1].

Metode yang digunakan dalam optimasi proses salah satu diantaranya adalah metode Taguchi. Aplikasi dan teori dari metode Taguchi pada awalnya hanya untuk optimasi respon tunggal, sedangkan untuk kasus multirespon ada beberapa ilmuwan yang mengembangkan metode optimasi multirespon antara lain adalah Khuri dan Conlon [2], mengusulkan suatu prosedur yang dapat mengoptimalkan beberapa variabel secara serentak dengan menggunakan suatu fungsi jarak untuk mengukur simpangan dari nilai optimum yang ideal. Derringer dan Suich [3], yang menunjukkan bagaimana beberapa

variabel respon dapat ditransformasikan dalam suatu fungsi *desireability*. Kedua metode ini mempunyai perhitungan yang terlalu rumit sehingga perlu dikembangkan menjadi pendekatan yang lebih efisien [1]. Penelitian untuk kasus multirespon dengan metode yang berbeda telah dilakukan oleh Garg [4] dengan menggunakan metode Taguchi dan fungsi *utility*. Penelitian tersebut bertujuan untuk memperoleh tingkat optimal dari parameter permesinan yang menghasilkan kualitas mesin terbaik. Penggunaan *Wire-EDM* dalam dilakukan pada benda kerja *Hot Die Steel H-11*.

Pada penelitian ini, untuk mengatasi permasalahan multirespon akan dilakukan analisis dengan menggunakan metode penggabungan antara *Grey Relational Analysis* (GRA) dan *Principal Component Analysis* (PCA). Jika dibandingkan dengan fungsi *utility*, metode tersebut lebih singkat pengerjaannya. GRA dapat menyelesaikan masalah kualitas dalam hal multirespon. PCA digunakan untuk menaksir nilai pembobot yang sesuai, sehingga beberapa karakteristik yang relatif penting dapat dijelaskan secara tepat dan objektif [5].

Beberapa penelitian GRA sebelumnya yang telah dilakukan antara lain tentang penggabungan GRA dengan PCA untuk rancangan optimasi pada parameter pemotongan di *high speed end milling* [5]. Selain itu, penelitian tentang penggunaan dari metode Taguchi dengan GRA untuk optimasi pada proses *sputtering* film dengan beberapa karakteristik kualitas di pabrik filter warna [6]. Penelitian tentang penggunaan metode Taguchi dan GRA untuk optimasi proses pengumpulan *flute-plate* dengan karakteristik kualitas pada pabrik pengumpulan energi solar [7]. Penelitian tentang GRA untuk menentukan parameter optimal pada proses WEDM [8].

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan kombinasi optimal dari parameter proses pada percobaan kinerja *Wire-EDM*, menduga nilai respon pada kondisi *setting* kombinasi optimal, dan membandingkan hasil metode Fungsi *Utility*, *Fuzzy Logics* dengan hasil metode gabungan GRA dan PCA. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kombinasi optimal dari parameter proses dengan menggunakan metode gabungan GRA dan PCA, sebagai alternatif pemecahan kasus multirespon pada metode Taguchi.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Data yang digunakan adalah data sekunder yang berasal dari penelitian Garg (2010) dengan judul “Pengaruh Parameter Proses Pada Pengukuran Kinerja *Wire-EDM*. Data tersebut

dalam penelitian ini akan diolah menggunakan metode gabungan GRA dan PCA [4].

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat seperti pada Tabel 1 berikut ini :

Tabel 1.
Variabel Penelitian

Variabel Penelitian		
Variabel Respon	Variabel Proses	
	Faktor	Level
1. Laju Pemotongan (<i>Larger The Better</i>)	1. Faktor A (<i>Pulse On Time</i>)	A ₁ = 106 μs A ₂ = 116 μs A ₃ = 126 μs
2. Kekasaran Permukaan (<i>Smaller The Better</i>)	2. Faktor B (<i>Pulse Off Time</i>)	B ₁ = 40 μs B ₂ = 50 μs B ₃ = 60 μs
3. Arus Kesenjangan (<i>Larger The Better</i>)	3. Faktor C (<i>Spark Gap Set Voltage</i>)	C ₁ = 20 volt C ₂ = 40 volt C ₃ = 60 volt
4. Penyimpangan Dimensi (<i>Smaller The Better</i>)	4. Faktor D (<i>Peak Current</i>)	D ₁ = 70 ampere D ₂ = 150 ampere D ₃ = 230 ampere
	5. Faktor E (<i>Wire Feed</i>)	E ₁ = 4 m/min E ₂ = 8 m/min E ₃ = 12 m/min
	6. Faktor F (<i>Wire Tension</i>)	F ₁ = 4 gram F ₂ = 8 gram F ₃ = 12 gram

Interaksi yang dimungkinkan berdasarkan pada penelitian sebelumnya [6] adalah AB, AC, dan BC sehingga diperoleh perhitungan derajat bebas (df) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 df &= A + B + C + D + E + F + AB + AC + BC \\
 &= (3-1) + (3-1) + (3-1) + (3-1) + (3-1) + (3-1) \\
 &\quad + (3-1)(3-1) + (3-1)(3-1) + (3-1)(3-1) \\
 &= 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 4 + 4 + 4 = 24
 \end{aligned}$$

Oleh karena itu rancangan OA yang digunakan dalam penelitian ini adalah L₂₇(3¹³).

Langkah analisis yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain :

1. Menentukan rancangan OA yang digunakan.

Metode Taguchi diperkenalkan oleh Dr. Genichi Taghuci (1940). Ada dua komponen pada metode Taguchi yaitu *Orthogonal array* (OA) dan *Signal to Noise Ratio* (SN Ratio). Komponen OA dapat digunakan untuk menentukan jumlah minimal banyaknya percobaan [9].

Pemilihan jenis OA yang akan digunakan pada percobaan didasarkan pada jumlah derajat bebas total [10]. Penentuan derajat bebas berdasarkan :

- a. Jumlah faktor utama yang diamati.
- b. Jumlah level dari faktor yang diamati.
- c. Interaksi percobaan yang diinginkan.

Pada penelitian ini menggunakan OA L₂₇(3¹³) yang dapat dilihat pada Lampiran A.

- L : Rancangan bujur sangkar Latin
- 27 : Menyatakan banyaknya percobaan yang dibutuhkan ketika menggunakan *Orthogonal Array*
- 13 : Menyatakan banyaknya faktor yang dapat diamati dalam *Orthogonal Array* (kolom)
- 3 : Menyatakan banyaknya level faktor

2. Menghitung nilai *SN Ratio* sesuai dengan karakteristik setiap respon.

Beberapa tipe karakteristik kualitas SN Ratio  dari respon dengan struktur data yang dapat dilihat pada Lampiran B, adalah [10]:

Karakteristik nilai tertentu adalah terbaik (*Nominal the best*)

$$\begin{aligned}
 SN \text{ ratio} &= 10 \log [\text{MSD}] \\
 &= 10 \log \left[\frac{\sum_{j=1}^n (y_{ijk} - m)^2}{n} \right] \quad (1)
 \end{aligned}$$

Keterangan :

m = nilai target spesifikasi

y_{ijk} = nilai respon ke-i, pengulangan ke-j pada eksperimen ke-k

n = banyaknya pengulangan

- a. Karakteristik semakin kecil semakin baik (*Smaller The Better*)

$$\begin{aligned}
 SN \text{ ratio} &= -10 \log [\text{MSD}] \\
 &= -10 \log \left[\frac{\sum_{j=1}^n y_{ijk}^2}{n} \right] \quad (2)
 \end{aligned}$$

- b. Karakteristik semakin besar semakin baik (*Larger The Better*)

$$\begin{aligned}
 SN \text{ ratio} &= -10 \log [\text{MSD}] \\
 &= -10 \log \left[\frac{\sum_{j=1}^n \frac{1}{y_{ijk}^2}}{n} \right] \quad (3)
 \end{aligned}$$

3. Menghitung nilai normalisasi *SN Ratio* setiap respon.

Persamaannya adalah sebagai berikut :

$$x_i^*(j) = \frac{x_i(j) - \min x_i(j)}{\max x_i(j) - \min x_i(j)} \quad (4)$$

Keterangan :

x_i^{*}(j) = nilai pembangkit awal observasi ke-i pada respon ke-j

x_i(j) = nilai observasi ke-i pada respon ke-j

i = banyaknya observasi

j = banyak respon

4. Menghitung nilai delta dan nilai gamma (*grey relational coefficient*) pada masing-masing respon.

- Hitung jarak dari Δ_{0i}(j), yang merupakan nilai mutlak dari perbedaan antara x₀^{*} dan x_i^{*} pada titik j.

$$\Delta_{0i}(j) = |x_0^*(j) - x_i^*(j)| \quad (5)$$

Keterangan :

x₀^{*}(j) = 1 (nilai terbesar S/N Ratio diinversikan sebesar 1)

- Hitung koefisien *grey relational* γ_{0i}(j) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\gamma_{0i}(j) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(j) + \zeta \Delta_{\max}} \quad (6)$$

Keterangan :

Δ_{min} = nilai minimum dari Δ_{0i}(j)

Δ_{maks} = nilai maksimum dari Δ_{0i}(j)

ζ adalah koefisien yang bernilai antara 0 hingga 1.

Nilai ζ ditentukan oleh pengambil keputusan terhadap harapannya. Pada umumnya diambil nilai $\zeta = 0,5$.

5. Menghitung nilai komponen *eigenvektor* dari nilai gamma sebagai pembobot melalui PCA.

6. Menghitung nilai *grey relational grade*.
Hitung *grey relational grade* dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\Gamma(x_0^*, x_i^*) = \sum_{j=1}^n \beta_j \gamma(x_0^*(j), x_i^*(j)) \quad (7)$$

Dimana β_j menggambarkan nilai bobot ke-j dari

karakteristik respon, dan $\sum_{j=1}^n \beta_j = 1$. Pada penelitian ini,

nilai bobot diperoleh dari nilai komponen *eigenvektor* [9].

7. Melakukan analisis menggunakan ANOVA dan memeriksa asumsi residual IIDN.

8. Menentukan kombinasi level optimal dari parameter proses.

9. Menduga laju pematangan, kekasaran permukaan, arus kesenjangan, dan penyimpangan dimensi pada kondisi *setting* kombinasi optimal

10. Menghitung selang kepercayaan masing-masing respon, membandingkan hasil optimasi dengan metode Fungsi *Utility* dan metode *Fuzzy Logics*.

Interval kepercayaan (CI) untuk hasil yang dicapai pada kondisi optimum dihitung dengan cara yang sama seperti CI pengaruh faktor signifikan [10].

$$CI = \mu \pm \sqrt{\frac{F_{\alpha}(1, f_e) V_e}{n_{eff}}} \quad (8)$$

μ = nilai prediksi respon

f_e = derajat bebas residual

V_e = rata-rata kuadrat residual

n_{eff} = jumlah pengulangan efektif

$n_{eff} = \frac{\text{jumlah seluruh percobaan}}{(1 + \text{derajat bebas semua faktor yang mengandung estimasi mean})}$

III. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

A. Penentuan Kondisi Optimum dengan Menggunakan Metode GRA

Penelitian ini ada 4 jenis variabel respon dengan karakteristik kualitas yang berbeda. Respon yang pertama adalah Laju Pematangan dengan karakteristik *Larger The Better* yang berarti semakin besar tingkat pematangannya maka semakin baik kualitasnya. Respon kedua adalah Kekasaran Permukaan dengan karakteristik *Smaller The Better* yang berarti semakin kecil kekasaran permukaannya maka semakin baik kualitasnya. Respon ketiga adalah Arus Kesenjangan dengan karakteristik *Larger The Better* yang berarti semakin besar arus kesenjangannya maka semakin baik kualitasnya. Respon keempat Penyimpangan Dimensi dengan karakteristik *Smaller The Better* yang berarti semakin kecil penyimpangan dimensinya maka semakin baik kualitasnya.

Perhitungan nilai *SN Ratio* keempat respon sesuai dengan persamaan (2) dan persamaan (3) disajikan pada Tabel 2 berikut ini :

Tabel 2.
SN Ratio Masing-Masing Respon

Eksp.	<i>SN Ratio</i>			
	Laju Pematangan	Kekasaran Permukaan	Arus Kesenjangan	Penyimpangan Dimensi
1	-3,39697	-2,77800	2,69723	3,47399
2	-3,01800	-1,98446	1,80323	6,55469
3	-5,96402	-1,39186	0,53402	5,11167
4	-6,44071	-2,56517	0,00000	2,15620
5	-7,88848	-2,05403	-1,62322	6,73937
6	-13,97940	-0,82953	-3,59166	4,61858
7	-10,08278	-2,69676	-2,13321	4,16480
8	-15,57373	-1,30291	-4,21737	3,18659
9	-15,57373	-0,64221	-4,03485	10,83722
10	7,62693	-8,26807	12,66467	4,58213
11	6,87308	-7,58018	11,81558	5,39090
12	-2,54113	-3,16823	4,25093	11,52787
13	3,78562	-8,07427	8,93207	7,66496
14	-4,73402	-2,79895	2,69723	8,82117
15	-3,61112	-4,69395	2,48301	8,90731
16	-6,62508	-4,24473	1,06546	5,13851
17	-4,06001	-5,43989	2,03454	12,6956
18	-6,02408	-4,30365	1,06546	33,14856
19	10,58243	-9,30027	16,12148	3,94661
20	1,98311	-5,37521	8,28661	8,90956
21	6,90384	-8,50861	13,05996	15,52537
22	-0,82022	-6,36187	7,35432	2,09945
23	4,38396	-8,36822	11,28325	5,12045
24	3,76835	-7,75986	10,54141	7,34249
25	2,51932	-9,09704	9,14397	7,0382
26	2,58314	-8,23452	9,6353	19,09143
27	-10,86613	-2,23496	1,58362	8,76531

Setelah dilakukan perhitungan *SN Ratio*, selanjutnya dilakukan normalisasi terhadap nilai *SN Ratio* yang sudah diperoleh. Perhitungan normalisasi *SN Ratio* setiap respon sesuai dengan persamaan (4). Sebelum melakukan analisis menggunakan *Grey Relational Grade*, terlebih dahulu menghitung nilai delta dan nilai gamma dari tiap respon sesuai dengan persamaan (5) dan persamaan (6).

Nilai gamma akan digunakan untuk menghitung nilai *Grey relational Grade* dengan pembobot PCA (*Principal Component Analysis*) dari nilai gamma. Melalui bantuan *software* Minitab, diperoleh nilai komponen *eigenvektor* yang dikuadratkan sebesar 0,351649; 0,300304; 0,3481; dan 0,0004. Misalkan dapat dilihat pada observasi pertama dengan nilai gamma masing-masing respon yaitu respon Laju Pematangan sebesar 0,48334; respon Kekasaran Permukaan sebesar 0,66963; respon Arus Kesenjangan sebesar 0,43102; respon Penyimpangan dimensi sebesar 0,34347 didapatkan nilai *Grey Relational Grade* sesuai dengan persamaan 7 :

$$\begin{aligned} \Gamma(x_0^*, x_i^*) &= \sum_{j=1}^n \beta_j \gamma(x_0^*(j), x_i^*(j)) \\ &= (0,351649 \times 0,48334) + (0,300304 \times 0,66963) + \\ &\quad (0,3481 \times 0,43102) + (0,00040 \times 0,34347) \\ &= 0,521236 \end{aligned}$$

Perhitungan di atas juga dilakukan pada 26 eksperimen lainnya dan didapatkan *Grey Relational Grade* seperti pada Tabel 3.

Tabel 3.
Nilai Grey Relational Grade

Eksp.	Grey Relational Grade	Eksp.	Grey Relational Grade	Eksp.	Grey Relational Grade
1	0,521236	10	0,655505	19	0,799989
2	0,54632	11	0,634028	20	0,552385
3	0,548797	12	0,525948	21	0,648791
4	0,495499	13	0,546009	22	0,504302
5	0,499186	14	0,512602	23	0,582436
6	0,528634	15	0,472598	24	0,569681
7	0,464623	16	0,456233	25	0,525824
8	0,493926	17	0,454457	26	0,539991
9	0,534416	18	0,458356	27	0,496163

Nilai Grey Relational Grade yang telah diperoleh, selanjutnya dianalisis menggunakan ANOVA untuk mengetahui faktor-faktor yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap respon. Berdasarkan perhitungan output Minitab diperoleh hasil analisis menggunakan ANOVA seperti pada Tabel 4.

Tabel 4.
ANOVA (Analysis Of Varians)

Sumber Variasi	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Rata-Rata Kuadrat	F _{hitung}	P-Value
A	2	0,022416	0,011208	17,13	0,055
B	2	0,060067	0,030033	45,90	0,021
C	2	0,002194	0,001097	1,68	0,374
D	2	0,012830	0,006415	9,80	0,093
E	2	0,007303	0,003652	5,58	0,152
F	2	0,003489	0,001744	2,67	0,273
A*B	4	0,012363	0,003091	4,72	0,182
A*C	4	0,012142	0,003035	4,64	0,185
B*C	4	0,012336	0,003084	4,71	0,183
Error	2	0,001309	0,000654		
Total	26	0,146447			

Berdasarkan beberapa uji hipotesis dan hasil perhitungan analisis pada Tabel 3, dapat diketahui bahwa ada beberapa faktor yang tidak signifikan karena nilai F_{hitung} < F_{0,05;(2,2)} dan nilai P-value > α (0,05). Pada ANOVA dilakukan penggabungan (pooling) agar semua faktor signifikan. Hasil Analysis of Varians setelah dilakukan penggabungan seperti pada Tabel 5.

Tabel 5.
Analysis Of Varians Setelah Penggabungan

Sumber Variasi	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Rata-Rata Kuadrat	F _{hitung}	P-Value
A	2	0,02242	0,011208	3,85	0,037
B	2	0,06007	0,030033	10,33	0,001
Error	22	0,06396	0,002907		
Total	26	0,14645			

Berdasarkan hasil perhitungan analisis pada Tabel 5, dapat diketahui bahwa faktor yang signifikan adalah faktor A dan faktor B karena nilai F_{hitung} > F_{0,05;(2,22)} (3,44336) dan nilai P-value < α (0,05). Sedangkan untuk faktor utama lainnya (C, D, E dan F) yang tidak signifikan tetap dianggap memberi pengaruh namun tidak sebesar faktor utama yang signifikan.

Pengujian asumsi residual identik dilakukan dengan menggunakan uji Levene. Pengujian asumsi ini dilakukan untuk mengetahui apakah residual pada data telah homogen. Hasil pengujian asumsi residual identik menunjukkan bahwa nilai L yang diperoleh sebesar 1,35 dan nilai F_(0,05;2;24) diperoleh sebesar 3,40283. Nilai L < F_(0,05;2;24) berarti bahwa residual memenuhi asumsi identik (homogen). Pengujian asumsi residual independen dilakukan dengan melihat plot Autocorrelation Function (ACF). Pengujian asumsi ini bertujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya autokorelasi. Hasil plot Autocorrelation Function (ACF) menjelaskan tidak ada nilai korelasi yang keluar dari garis batas signifikansi autokorelasi (daerah selang kepercayaan 95%) pada setiap lag, berarti bahwa tidak ada autokorelasi antar residual atau residual data bersifat independen. Pengujian asumsi kenormalan residual data dapat dilakukan dengan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov. Hasil nilai D_{hitung} sebesar 0,139 dan nilai D_(27;0,95) sebesar 0,254. Nilai D_{hitung} < D_(27;0,95), yaitu 0,139 < 0,254, sehingga dapat diambil kesimpulan residual berdistribusi normal.

Setelah dilakukan analisis menggunakan ANOVA, selanjutnya dapat ditentukan kombinasi optimal setiap respon. Hasil ANOVA yang telah dilakukan dapat ditentukan kondisi yang optimal dengan melihat nilai mean yang terbesar tiap level pada setiap faktor. Hasil perbedaan nilai mean pada setiap faktor dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini :

Tabel 6.
Nilai Mean Setiap Level

Level	A	B	C	D	E	F
1	0,5147	0,6037	0,5521	0,5102	0,5488	0,5255
2	0,5240	0,5234	0,5350	0,5462	0,5534	0,5399
3	0,5800	0,4916	0,5315	0,5623	0,5164	0,5533
Delta	0,0652	0,1121	0,0206	0,0521	0,0370	0,0278
Rank	2	1	6	3	4	5

Berdasarkan nilai mean setiap level yang telah diperoleh dapat diketahui bahwa kondisi optimum untuk keenam faktor dilihat dari nilai mean yang terbesar pada setiap faktor. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan metode gabungan Grey Relational Analysis (GRA) dan Principal Component Analysis (PCA) didapatkan setting kombinasi optimal yaitu A₃B₁C₁D₃E₂F₃.

B. Pendugaan Nilai Setiap Respon Pada Kondisi Setting Kombinasi Optimal

- Nilai taksiran rata-rata respon Laju Pemotongan

$$\mu = \bar{A}_3 + \bar{B}_1 + \bar{C}_1 + \bar{D}_3 + \bar{E}_2 + \bar{F}_3 - 5\bar{T}$$

$$\bar{T} = \frac{(\sum R_1 + \sum R_2 + \sum R_3)}{81} = \frac{(27,27 + 27,24 + 27,36)}{81} = \frac{81,8700}{81} = 1,0107$$

$$\bar{A}_3 = 1,5485 ; \bar{B}_1 = 1,5670 ; \bar{C}_1 = 1,2796 ; \bar{D}_3 = 1,3052 ;$$

$$\bar{E}_2 = 1,0463 ; \bar{F}_3 = 1,0896$$

$$\mu = 1,5485 + 1,5670 + 1,2796 + 1,3052 + 1,0463 + 1,0896 - (5 \times 1,0107)$$

$$\mu = 7,8362 - 5,0535 = 2,7827 \text{ mm/min}$$

- Nilai taksiran rata-rata respon Kekasaran Permukaan

$$\mu = \bar{A}_3 + \bar{B}_1 + \bar{C}_1 + \bar{D}_3 + \bar{E}_2 + \bar{F}_3 - 5\bar{T}$$

$$\bar{T} = \frac{(\sum R_1 + \sum R_2 + \sum R_3)}{81} = \frac{(49,68 + 49,45 + 49,71)}{81} = \frac{184,8400}{81} = 1,8375$$

$$\bar{A}_3 = 2,367; \bar{B}_1 = 1,963; \bar{C}_1 = 2,076; \bar{D}_3 = 2,034;$$

$$\bar{E}_2 = 1,785; \bar{F}_3 = 1,805$$

$$\mu = 2,367 + 1,963 + 2,076 + 2,034 + 1,785 + 1,805 - (5 \times 1,8375)$$

$$\mu = 12,03 - 9,1875 = 2,8425 \mu m$$

- Nilai taksiran rata-rata respon Arus Kesenjangan

$$\mu = \bar{A}_3 + \bar{B}_1 + \bar{C}_1 + \bar{D}_3 + \bar{E}_2 + \bar{F}_3 - 5\bar{T}$$

$$\bar{T} = \frac{(\sum R_1 + \sum R_2 + \sum R_3)}{81} = \frac{(57,10 + 57,50 + 56,50)}{81} = \frac{171,1000}{81} = 2,1123$$

$$\bar{A}_3 = 3,3296; \bar{B}_1 = 3,0000; \bar{C}_1 = 2,5537; \bar{D}_3 = 2,5907;$$

$$\bar{E}_2 = 2,2000; \bar{F}_3 = 2,2574$$

$$\mu = 3,3296 + 3,0000 + 2,5537 + 2,5907 + 2,2 + 2,2574 - (5 \times 2,1123)$$

$$\mu = 15,9314 - 10,5615 = 5,3699 \text{ ampere}$$

- Nilai taksiran rata-rata respon Penyimpangan Dimensi

$$\mu = \bar{A}_3 + \bar{B}_1 + \bar{C}_1 + \bar{D}_3 + \bar{E}_2 + \bar{F}_3 - 5\bar{T}$$

$$\bar{T} = \frac{(\sum R_1 + \sum R_2 + \sum R_3)}{81} = \frac{(12,33 + 12,15 + 12,40)}{81} = \frac{36,8730}{81} = 0,4552$$

$$\bar{A}_3 = 0,4267; \bar{B}_1 = 0,4713; \bar{C}_1 = 0,6099; \bar{D}_3 = 0,4198;$$

$$\bar{E}_2 = 0,4322; \bar{F}_3 = 0,5583$$

$$\mu = 0,4267 + 0,4713 + 0,6099 + 0,4198 + 0,4322 + 0,5583 - (5 \times 0,4552)$$

$$\mu = 2,9182 - 2,276 = 0,6422 \%$$

Hasil dari perhitungan selang kepercayaan untuk setiap respon sesuai pada persamaan (8) :

- Laju Pemotongan

Nilai taksiran rata-rata respon Laju Pemotongan sebesar 2,7827 mm/min terletak dalam selang kepercayaan antara 2,4595 mm/min dan 3,1059 mm/min.

- Kekasaran Permukaan

Nilai taksiran rata-rata respon Kekasaran Permukaan sebesar 2,8425 μm terletak dalam selang kepercayaan antara 2,6707 μm dan 3,0143 μm .

- Arus Kesenjangan

Nilai taksiran rata-rata respon Arus Kesenjangan sebesar 5,3699 ampere terletak dalam selang kepercayaan antara 4,7919 ampere dan 5,9479 ampere.

- Penyimpangan Dimensi

Nilai taksiran rata-rata respon Penyimpangan Dimensi sebesar 0,6422% terletak dalam selang kepercayaan antara 0,5584% dan 0,7260%.

C. Perbandingan Nilai Optimum Antara Metode Fungsi Utility, Metode Fuzzy Logics, dan Metode Gabungan GRA dan PCA

Pada penelitian ini, agar diketahui perbedaan nilai optimum yang diperoleh dari analisis menggunakan Fungsi *Utility*, *Fuzzy Logics*, dan analisis dengan menggunakan metode gabungan GRA dan PCA, maka kondisi optimum pada masing-masing metode dibandingkan. Pada penelitian ini, untuk kasus data penerapan jika karakteristik respon *Larger The Better* (Laju Pemotongan dan Arus Kesenjangan), metode gabungan GRA dan PCA menghasilkan nilai prediksi yang lebih baik dibandingkan dengan metode Fungsi *Utility* dan *Fuzzy Logic*. Jika karakteristik respon *Smaller The Better*

(Kekasaran Permukaan dan Penyimpangan Dimensi), metode Fungsi *Utility* dan *Fuzzy Logic* menghasilkan nilai prediksi yang lebih baik dibandingkan dengan metode gabungan GRA dan PCA.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan bahwa kombinasi optimal dari parameter proses yang diperoleh yaitu $A_3B_1C_1D_3E_2F_3$. Nilai taksiran rata-rata pada respon Laju Pemotongan sebesar 2,7827 mm/min, pada respon Kekasaran Permukaan sebesar 2,8425 μm , sedangkan pada respon Arus Kesenjangan dan Penyimpangan Dimensi masing-masing sebesar 5,3699 ampere dan 0,6422 %. Respon dengan karakteristik *Larger The Better* (Laju Pemotongan dan Arus Kesenjangan) pada metode gabungan GRA dan PCA menghasilkan nilai prediksi yang lebih baik dibandingkan dengan metode Fungsi *Utility* dan *Fuzzy Logic*. Respon dengan karakteristik *Smaller The Better* (Kekasaran Permukaan dan Penyimpangan Dimensi) pada metode Fungsi *Utility* dan *Fuzzy Logic* menghasilkan nilai prediksi yang lebih baik dibandingkan dengan metode gabungan GRA dan PCA.

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini adalah perbandingan metode gabungan *Grey Relational Analysis* (GRA) dan *Principal Component Analysis* (PCA) dengan metode lain diperlukan agar dapat mengetahui perbedaan masing-masing metode. Selain itu, agar dapat menunjukkan bahwa metode yang satu lebih baik dari metode yang lain, maka diperlukan percobaan konfirmasi terhadap kondisi optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. T. Widagdo, "Optimasi Proses Pengecatan Di PT. Panca Jasa Dengan Taguchi Multirespon," Tugas Akhir : Jurusan Statistika FMIPA ITS (2001).
- [2] A. I. Khuri dan M. Conlon, (1981). "Simultaneous Optimization of Multiple Responses Represented by Polynomial Regression Function," *Technometrics*, Vol. 23 (1981) 363-375.
- [3] G. Derringer dan R. Suich, (1980). "Simultaneous Optimization of Several Response Variables," *Journal of the Quality Technology*, Vol. 12 (1980) 214-219.
- [4] R. Garg, "Effect of Process Parameters on Performance Measures of Wire Electrical Discharge Machining," Ph. D. Thesis, Mechanical Engineering Departement, National Institute of Technology, Kurukshetra, Haryana, India (2010).
- [5] H.S. Lu, C. K. Chang, N. C. Hwang dan C. T. Chung, "Grey Relational Analysis Coupled With Principal Component Analysis For Optimization Design Of The Cutting Parameters In High-Speed End Milling". *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 209 (2009) 3808-3817.
- [6] Y. M. Chiang dan H.H. Hsieh, "The use of the Taguchi method with Grey Relational Analysis to Optimize The Thin-Film Sputtering Process with Multiple Quality Characteristics in Color Filter Manufacturing," *J. Computers & Industrial Engineering*, Vol. 56 (2009) 648-661.
- [7] C. F. J. Kuo, T. L. Su, P. R. Jhang, C. Y. Huang dan C. H. Chiu, (2011). "Using the Taguchi method and grey relational analysis to optimize the flat-plate collector process with multiple quality characteristics in solar energy collector manufacturing," *Energy*, Vol. 36 (2011) 3554-3562.
- [8] S. Balasubramanian dan S. Ganapathy, "Grey Relational Analysis To Determine Optimum Process Parameters For WEDM," *International Journal Engineering Science and Technology*, Vol.3, No. 1 (2011, Jan.) 95-101.
- [9] S. H. Park, *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*. New Delhi : PT. Palatino Thomson Press (1996).

[10] N. Belavendram, *Quality by Design Taguchi Techniques for Industrial Experimentation*. London : Prentice Hall International (1995).

LAMPIRAN

A. Orthogonal Array

Eksp.	Faktor											
	A	B	AB	AB	C	AC	AC	BC	D	E	BC	F
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2
4	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	2	2
5	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	0	0
6	0	1	1	1	2	2	2	0	0	0	1	1
7	0	2	2	2	0	0	0	2	2	2	1	1
8	0	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2
9	0	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	0
10	1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1
11	1	0	1	2	1	2	0	1	2	0	1	2
12	1	0	1	2	2	0	1	2	0	1	2	0
13	1	1	2	0	0	1	2	1	2	0	2	0
14	1	1	2	0	1	2	0	2	0	1	0	1
15	1	1	2	0	2	0	1	0	1	2	1	2
16	1	2	0	1	0	1	2	2	0	1	1	2
17	1	2	0	1	1	2	0	0	1	2	2	0
18	1	2	0	1	2	0	1	1	2	0	0	1
19	2	0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	2
20	2	0	2	1	1	0	2	1	0	2	1	0
21	2	0	2	1	2	1	0	2	1	0	2	1
22	2	1	0	2	0	2	1	1	0	2	2	1
23	2	1	0	2	1	0	2	2	1	0	0	2
24	2	1	0	2	2	1	0	0	2	1	1	0
25	2	2	1	0	0	2	1	2	1	0	1	0
26	2	2	1	0	1	0	2	0	2	1	2	1
27	2	2	1	0	2	1	0	1	0	2	0	2

B. Struktur Data

Eksp.	Laju Pemotongan			Kekasaran Permukaan			Arus Kesenjangan			Penyimpangan Dimensi		
	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 1	Rep 2	Rep 3
1	Y111	...	Y113	Y211	...	Y213	Y311	...	Y313	Y411	...	Y413
2	Y112	...	Y114	Y212	...	Y214	Y312	...	Y314	Y412	...	Y414
3	Y113	...	Y115	Y213	...	Y215	Y313	...	Y315	Y413	...	Y415
4	Y114	...	Y116	Y214	...	Y216	Y314	...	Y316	Y414	...	Y416
5	Y115	...	Y117	Y215	...	Y217	Y315	...	Y317	Y415	...	Y417
6	Y116	...	Y118	Y216	...	Y218	Y316	...	Y318	Y416	...	Y418
7	Y117	...	Y119	Y217	...	Y219	Y317	...	Y319	Y417	...	Y419
8	Y118	...	Y120	Y218	...	Y220	Y318	...	Y320	Y418	...	Y420
9	Y119	...	Y121	Y219	...	Y221	Y319	...	Y321	Y419	...	Y421
10	Y120	...	Y122	Y220	...	Y222	Y320	...	Y322	Y420	...	Y422
11	Y121	...	Y123	Y221	...	Y223	Y321	...	Y323	Y421	...	Y423
12	Y122	...	Y124	Y222	...	Y224	Y322	...	Y324	Y422	...	Y424
13	Y123	...	Y125	Y223	...	Y225	Y323	...	Y325	Y423	...	Y425
14	Y124	...	Y126	Y224	...	Y226	Y324	...	Y326	Y424	...	Y426
15	Y125	...	Y127	Y225	...	Y227	Y325	...	Y327	Y425	...	Y427
16	Y126	...	Y128	Y226	...	Y228	Y326	...	Y328	Y426	...	Y428
17	Y127	...	Y129	Y227	...	Y229	Y327	...	Y329	Y427	...	Y429
18	Y128	...	Y130	Y228	...	Y230	Y328	...	Y330	Y428	...	Y430
19	Y129	...	Y131	Y229	...	Y231	Y329	...	Y331	Y429	...	Y431
20	Y130	...	Y132	Y230	...	Y232	Y330	...	Y332	Y430	...	Y432
21	Y131	...	Y133	Y231	...	Y233	Y331	...	Y333	Y431	...	Y433
22	Y132	...	Y134	Y232	...	Y234	Y332	...	Y334	Y432	...	Y434
23	Y133	...	Y135	Y233	...	Y235	Y333	...	Y335	Y433	...	Y435
24	Y134	...	Y136	Y234	...	Y236	Y334	...	Y336	Y434	...	Y436
25	Y135	...	Y137	Y235	...	Y237	Y335	...	Y337	Y435	...	Y437
26	Y136	...	Y138	Y236	...	Y238	Y336	...	Y338	Y436	...	Y438
27	Y137	...	Y139	Y237	...	Y239	Y337	...	Y339	Y437	...	Y439