

Optimasi *Setting* Parameter Mesin Plasma *Cutting* terhadap Kekasaran Permukaan dan Lebar Pemotongan pada Aluminium 5083 Menggunakan Metode Taguchi

Adelia Al Sakina^{1*}, Bachtiar², Farizi Rachman³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya60111, Indonesia.^{1,3}

Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.²

E-mail: aalsak.na@gmail.com^{1*}

Abstract – Many factors determine the product quality, such as surface roughness and cutting width, especially in plate cutting industry. Getting the minimum roughness and the suitable cutting width becomes much easier if the machine operators know the right parameter while cutting. In this study, plasma cutting is used. Some parameter in this study are considered such as cutting speed, cutting height, arc voltage and air flow rates on cutting aluminium 5083 with 10 mm thickness. The analysis is conducted using Taguchi Grey Relational Analysis Method to surface roughness and cutting width. The result from this study is getting the optimal parameter combination consists of cutting speed with 1470 mm/min, cut height with 6 mm, arc voltage with 163 volt and air flow rates with 40 lpm. Moreover, the percentage contribution for cutting height is 6,780%, arc voltage is 20,141% and air flow is 56,779%. Meanwhile cutting speed didn't significantly affect surface roughness and cutting width.

Keywords: aluminium 5083, surface roughness, cutting width, plasma cutting, , Taguchi Grey Relational Analysis.

1. PENDAHULUAN

Proses manufaktur di industri banyak macamnya, salah satunya yaitu proses pemotongan dengan cahaya plasma atau plasma *cutting*. Industri manufaktur memiliki beberapa hal yang diperhatikan dalam pengerjaan produknya. Mulai dari kondisi mesin, kualitas bahan hingga hasil akhir dalam bentuk produk. Salah satu faktor yang mempengaruhi adalah nilai kekasaran permukaan. Pada pemotongan kapal aluminium, setelah pemotongan diperlukan proses gerinda. Jika kekasaran hasil pemotongan kecil maka proses gerinda tidak diperlukan lagi. Faktor lainnya yang turut mempengaruhi adalah lebar pemotongan. Dalam hal ini, lebar pemotongan jika lebih besar daripada yang direncanakan maka dimensi hasil pemotongan akan lebih kecil, begitu pula jika lebar pemotongan lebih kecil daripada yang direncanakan maka dimensi hasil pemotongan akan lebih besar.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui kombinasi optimum parameter dan seberapa besar kontribusi parameter dari *cutting speed* (CS), *cut height* (CH), *air flow rate* (AF) dan *arc voltage* (AV) terhadap kekasaran permukaan dan lebar pemotongan. Sehingga dapat mempelajari pengaruh setiap parameter, mempelajari bagaimana kontribusi dan menjadi data referensi industri pemotongan aluminium 5083 dengan ketebalan 10 mm. Penelitian ini menggunakan

desain eksperimen dan analisis metode Taguchi *Grey Relational Analysis* dikarenakan terdapat dua respon uji. Mesin pemotongan plasma menggunakan mesin Hypertherm seri 807700.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan matriks orthogonal $L_9(3^4)$ dengan arti terdapat 9 eksperimen percobaan untuk 4 parameter dan masing-masing parameter terdapat 3 level eksperimen serta dilakukan replikasi sebanyak 3 kali. Pemotongan pelat menggunakan plasma *cutting* dilakukan di bengkel CNC Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya sekaligus pengukuran lebar pemotongan menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,02 mm. Untuk pengukuran kekasaran permukaan menggunakan foto makro dan disketsa menggunakan AutoCAD yang kemudian dihitung menggunakan persamaan 1 untuk mengetahui nilai kekasaran suatuspesimen.

Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan yang digunakan adalah kekasaran R_z , yaitu kekasaran rata-rata dari puncak ke lembah (Munadi, 1988). Dengan menentukan 5 titik puncak dan 5 titik lembah terhadap garis horizontal dibawah titik pengamatan. Setelah didapatkan titik-titik pengamatan dan diukur panjang titik terhadap garis horizontal dibawah titik pengamatan maka dilakukan perhitungan dengan persamaan 1.

$$Rz = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5} \quad (1)$$

Dengan

Rz : kekasaran rata-rata puncak ke lembah
 R_{1,3,5,7,9} : nilai dari garis horizontal ke puncak sampel
 R_{2,4,6,8,10} : nilai dari garis horizontal ke lembah sampel

Metode Taguchi

Metode Taguchi digunakan pada suatu penelitian untuk mengetahui nilai yang optimal masing-masing respon dengan perhitungan Rasio S/N (Soejanto, 2009). Untuk respon kekasaran permukaan menggunakan karakteristik *smaller is better* yaitu nilai yang semakin kecil semakin baik sesuai dengan persamaan 2 dan respon lebar pemotongan menggunakan karakteristik *nominal is the best* yaitu nilai yang mendekati nilai yang ditentukan semakin baik sesuai dengan persamaan 3 berikut:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{y^2}{n} \quad (2)$$

$$\frac{S}{N} = 10 \log \frac{y^2}{s^2} \quad (3)$$

Dengan

y: data dari percobaan; n: jumlah pengulangan; s²: varians sampel.

Metode Grey Relational Analysis (GRA)

Langkah pertama yaitu dengan perhitungan normalisasi rasio S/N. Secara umum perhitungan normalisasi rasio S/N sesuai dengan persamaan 4 berikut:

$$X_i^*(k) = \frac{Xo^o(k) - \text{Min } Xo^o(k)}{\text{Max } Xo^o(k) - \text{Min } Xo^o(k)} \quad (4)$$

Dengan

Max Xo^o (k): maksimum perhitungan rasio S/N;
 Min Xo^o (k): minimum perhitungan rasio S/N;
 Xo^o (k): nilai dari rasio S/N disetiap eksperimen.

Langkah ke-2 perhitungan simpangan deviasi sesuai dengan persamaan 5 berikut:

$$\Delta Oi(k) = |Xo^*(k) - Xi^*(k)| \quad (5)$$

Dengan

Xo*(k): nilai rasio S/N normalisasi terbesar; Xi*(k): nilai rasio S/N normalisasi pada eksperimen ke-i.

Langkah ke-3 perhitungan *Grey Relational Coefficient*(GRC) menggunakan persamaan 6 berikut:

$$\zeta_i(k) = \frac{\Delta \text{min} + \zeta \Delta \text{max}}{\Delta Oi(k) + \zeta \Delta \text{max}} \quad (6)$$

Dengan

Δmin : nilai terendah dari rangkaian deviasi;
 Δmax : nilai tertinggi dari rangkaian deviasi; ζ : koefisien pembeda (nilai $\zeta = 0,5$); $\Delta Oi(k)$: angka deviasi.

Langkah ke-4 perhitungan *Grey Relational Grade* (GRG) menggunakan persamaan 7 berikut:

$$y_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \zeta_i(k) \quad (7)$$

Dengan

m: jumlah variabel respon yang digunakan

Pembobotan yang digunakan pada penelitian ini adalah 50% untuk respon kekasaran permukaan dan 50% untuk respon lebar pemotongan.

ANOVA (Analysis of Variance)

Tujuan analisis statistik dari varian adalah untuk menginvestigasi parameter desain mana yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon pada suatu pengujian (Soejanto, 2009). Analisis ANOVA ini dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab. Dalam analisis ANOVA terdapat istilah strategi *pooling up* yaitu untuk mengakumulasi beberapa *varians error* dari beberapa faktor yang kurang berarti sehingga hasilnya lebih baik.

Interpretasi Hasil Eksperimen

Interpretasi hasil eksperimen dilakukan dengan perhitungan nilai SS' setiap faktor sesuai persamaan 8 untuk dapat menghitung persen kontribusi faktor dengan persamaan 9 menggunakan data dari Tabel ANOVA.

$$SS'_{faktor} = SS_{faktor} - (V_{faktor}) \times (MS_{error}) \quad (8)$$

$$\rho = \frac{SS'_{faktor}}{SS_{total}} \times 100\% \quad (9)$$

Selanjutnya adalah perhitungan interval kepercayaan untuk eksperimen prediksi menggunakan persamaan 10 dan untuk eksperimen konfirmasi menggunakan persamaan 11 sebagai berikut:

$$CI_2 = \sqrt{\frac{F_{\alpha;1;V_e} \times MS_{error}}{n_{eff}}} \quad (10)$$

$$CI_3 = \sqrt{F_{\alpha;1;V_e} MS_{error} \left[\left(\frac{1}{n_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \quad (11)$$

Dengan

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

$$r = \text{jumlah eksperimen konfirmasi}$$

Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan tujuan pengecekan kesimpulan hasil tahap analisis eksperimen prediksi, selain itu juga bertujuan untuk melakukan pengujian kombinasi faktor dan level. Langkah pemotongan dan analisis konfirmasi dilakukan sama seperti langkah pada eksperimen prediksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pemotongan pelat dengan plasma *cutting*, kemudian pelat diukur lebar pemotongannya dan kekasaran permukaan potongnya. Sehingga menghasilkan nilai pengukuran dan perhitungan rasio S/N menggunakan persamaan 2 untuk kekasaran permukaan (KP) dan persamaan 3 untuk respon lebar pemotongan (LP) serta normalisasi rasio S/N menggunakan persamaan 4 sesuai pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1a: Hasil Pengukuran Pelat

Eks	Faktor dan Interaksi				Hasil Pengukuran	
	CS (mm/min)	CH (mm)	AV (volt)	AF (lpm)	LP (mm)	KP (μ m)
1	600	3	159	40	3,90	13,51
2	600	4	161	55	4,18	21,76
3	600	6	163	70	4,14	12,89
4	1000	3	161	70	3,68	16,81
5	1000	4	163	40	3,49	12,28
6	1000	6	159	55	3,55	23,53
7	1470	3	163	55	3,32	16,66
8	1470	4	159	70	3,26	20,36
9	1470	6	161	40	3,54	13,53

Tabel 1b: Hasil Perhitungan Rasio S/N serta Normalisasi

Eks	Rasio S/N		Normalisasi	
	X_1	X_2	X_i	X_{ii}
1	22,578	-17,840	0	0,854
2	29,171	-21,982	0,516	0,120
3	25,110	-17,432	0,198	0,926
4	23,147	-19,738	0,044	0,517
5	31,451	-17,013	0,694	1
6	28,273	-22,660	0,446	0
7	30,295	-19,662	0,604	0,531
8	27,482	-21,404	0,384	0,222
9	35,357	-17,857	1	0,851

Perhitungan mulai memasuki tahap *grey relational analysis*. Selanjutnya adalah perhitungan simpangan deviasi menggunakan persamaan 5, nilai GRC menggunakan persamaan 6 kemudian didapatkan nilai GRG menggunakan persamaan 7 untuk setiap eksperimen. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2: Perhitungan Simpangan Deviasi, GRC dan GRG

Eks	Deviasi		GRC		GRC		GRG	Rank
	ΔO_1	ΔO_2	γ_1	γ_2	50%	50%		
1	1	0,146	0,333	0,773	0,167	0,387	0,553	4
2	0,484	0,880	0,508	0,362	0,254	0,181	0,435	6
3	0,802	0,074	0,384	0,871	0,192	0,435	0,627	3
4	0,956	0,483	0,344	0,509	0,172	0,254	0,426	7
5	0,306	0	0,621	1	0,310	0,5	0,810	2
6	0,554	1	0,474	0,333	0,237	0,167	0,404	9
7	0,396	0,469	0,558	0,516	0,279	0,258	0,537	5
8	0,616	0,778	0,448	0,391	0,224	0,196	0,420	8
9	0	0,149	1	0,770	0,5	0,385	0,885	1

Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan ANOVA untuk melihat faktor eksperimen yang memiliki pengaruh signifikan dengan menggunakan *software* Minitab dan hasilnya terdapat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3: Tabel ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value
CS	2	0,01021	0,005105	-
CH	2	0,02720	0,013601	-
AV	2	0,06068	0,030340	-
AF	2	0,15249	0,076243	-
Error	-	-	-	-
Total	8	0,25058	-	-

Seperti yang tertera pada Tabel 3, F hitung dari keempat faktor tidak dapat dihitung akibat dari nilai SS (*Sum of Square*) pada eror bernilai 0. *Pooling up* dilakukan dengan menjumlahkan nilai faktor yang akan di *pool* kedalam baris eror. Untuk penelitian ini diambil berdasarkan nilai SS terkecil yaitu *cutting speed* pada baris pertama dengan nilai SSnya yaitu 0,01021. Dengan hasil tabel ANOVA yang telah di *pooling up*, dapat dilakukan perhitungan persen kontribusi menggunakan persamaan 8 dan 9. Hasil tabel ANOVA *pooling up* dan perhitungan persen kontribusi terdapat pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4: Tabel ANOVA setelah *Pooling Up* dan Persen Kontribusi

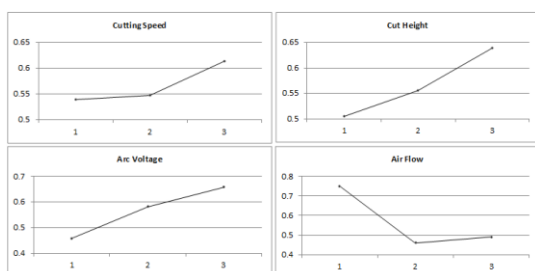
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	SS'	ρ (%)
CH	2	0,02720	0,013601	2,664	0,01699	6,780
AV	2	0,06068	0,030340	5,943	0,05047	20,141
AF	2	0,15249	0,076243	14,934	0,142275	56,779
Error (pooled)	2	0,01021	0,005105	-	0,040844	16,3
Total	8	0,25058	-	-	-	-

Dilanjutkan dengan perhitungan kombinasi parameter optimum dengan cara menjumlahkan nilai GRG level pada eksperimen berapa saja diterapkannya level tersebut kemudian dibagi sejumlah level yang digunakan. Hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5: Optimum dari Kedua Respon

Level		CS	CH	AV	AF
1	Eksperimen	1, 2, 3	1, 4, 7	1, 6, 8	1, 5, 9
	Hasil	0,539	0,505	0,459	0,750
2	Eksperimen	4, 5, 6	2, 5, 8	2, 4, 9	2, 6, 7
	Hasil	0,547	0,555	0,582	0,459
3	Eksperimen	7, 8, 9	3, 6, 9	3, 5, 7	3, 4, 8
	Hasil	0,614	0,639	0,658	0,491
	Selisih	0,075	0,133	0,199	0,291
	Rank	4	3	2	1

Untuk mempermudah pembacaan tabel, dapat dilihat bentuk grafik parameter optimum pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Grafik Level Optimal Respon Gabungan

Dapat dilihat bahwa kombinasi optimumnya yaitu *cutting speed* level 3 dengan nilai 1470 mm/min, *cut height* level 3 dengan nilai 6 mm, *arc voltage* level 3 dengan nilai 163 volt dan *air flow* level 1 bernilai 40 lpm. Selanjutnya adalah perhitungan interval kepercayaan untuk eksperimen prediksi. Menggunakan tingkat kepercayaan sebesar 95% dan nilai pada F tabel untuk $F_{(0.05,1,2)}$ adalah 18,5. Sesuai dengan persamaan 10, berikut perhitungan interval kepercayaan eksperimen prediksi:

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

$$= \frac{9 \times 3}{1 + (2+2+2)} = 3,857$$

$$CI = \pm \sqrt{F(0.05,1,2) \times MSe \times \frac{1}{n_{eff}}}$$

$$= \pm \sqrt{18,51 \times 0,005105 \times \frac{1}{3,857}} = \pm 0,156527$$

$$\mu \text{ prediksi} - CI \leq \mu \leq \mu \text{ prediksi} + CI$$

$$0,914 - 0,156527 \leq \mu \leq 0,914 + 0,156527$$

$$0,757 \leq \mu \leq 1,070$$

Eksperimen Konfirmasi

Dengan menggunakan kombinasi parameter optimum hasil analisis eksperimen prediksi didapatkan data-data hasil pengukuran yang dapat dilihat pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6a: Hasil Pengukuran dan Perhitungan Eksperimen Konfirmasi

Rep.	LP (mm)	KP (μm)	Rasio S/N		Normalisasi	
			LP	KP	LP	KP
1	3,11	16,70	26,336	-24,454	0	0,838
2	3,23	16,90	37,804	-24,558	0,810	0,807
3	3,24	22,98	38,170	-27,227	0,836	0
4	3,23	18,62	40,493	-25,400	1	0,552
5	3,23	15,70	40,475	-23,918	0,999	1

Tabel 6b: Hasil Pengukuran dan Perhitungan Eksperimen Konfirmasi

Rep.	Deviasi		GRC		GRG
	LP	KP	LP	KP	
1	1	0,162	0,333	0,755	0,544
2	0,190	0,193	0,725	0,721	0,723
3	0,164	1	0,753	0,333	0,543
4	0	0,448	1	0,528	0,764
5	0,001	0	0,997	1	0,999
			Total		3,573
			Rata-rata		0,715

Perhitungan pada eksperimen konfirmasi dilakukan dengan langkah-langkah perhitungan seperti pada eksperimen prediksi. Mulai dari perhitungan Taguchi sampai perhitungan GRA. Kemudian melakukan perhitungan interval kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi menggunakan persamaan 11 dengan nilai F tabel, n_{eff} dan nilai MS_e seperti nilai pada eksperimen prediksi. Berikut perhitungan interval kepercayaan eksperimen konfirmasi:

$$CI = \pm \sqrt{F(0.05,1,2) \times MSe \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]}$$

$$= \pm \sqrt{18,51 \times 0,005105 \times \left[\frac{1}{3,857} + \frac{1}{5} \right]}$$

$$= \pm 0,2083$$

$$\mu \text{ konfirmasi} - CI \leq \mu \leq \mu \text{ konfirmasi} + CI$$

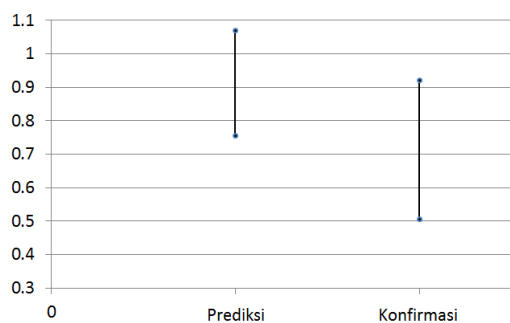
$$0,715 - 0,2083 \leq \mu \leq 0,715 + 0,2083$$

$$0,5062 \leq \mu \leq 0,9229$$

Visualisasi interval kepercayaan dari eksperimen prediksi dan eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Gambar 2, untuk mempermudah pembacaan serta hasil rata-rata dan rentang interval eksperimen dirangkum kedalam Tabel 7 berikut:

Tabel 7: Nilai Rata-rata dan Interval Kepercayaan Kedua Eksperimen

Eksperimen	Rata-rata	Interval Kepercayaan
Prediksi	0,914	0,914 ± 0,1565
Konfirmasi	0,715	0,715 ± 0,2083



Gambar 2. Grafik Perbandingan Interval Kepercayaan

4. KESIMPULAN

Kombinasi optimum parameter pada penelitian ini adalah parameter *cutting speed* bernilai 1470 mm/min, *cut height* bernilai 6 mm, *arc voltage* bernilai 163 volt dan *air flow rates-plasma* bernilai 40 lpm. Kontribusi parameter *cutting speed* tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Sedangkan untuk parameter *cut height* memberikan kontribusi sebesar 6,780%, parameter *arc voltage* memberikan kontribusi sebesar 20,141% dan parameter *air flow rates-plasma* memberikan kontribusi sebesar 56,779% terhadap respon kekasaran permukaan dan lebar pemotongan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Munadi, S., 1988. *Dasar-dasar Metrologi Industri*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- [2] Rakasita, R., dan Karuniawan, B., W., 2016. *Jurnal Teknik Industri. Optimasi Parameter Mesin Laser Cutting terhadap Kekasaran dan Laju Pemotongan pada SUS 316L Menggunakan Taguchi Grey Relational Analysis Method*. 9 (2), pp.97-105.
- [3] Soejanto, I., 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [4] Tanoto, Y. Y., Bobby O. S. dan Arief W., 2014. *Jurnal Teknik Mesin. Optimasi Multi Respon pada Proses Gurdi dengan Menggunakan Metode Taguchi-Grey*. 15 (1), pp.8-14.

