

OPTIMASI PEMOTONGANAN BAJA AISI-1045 UNTUK MENDAPATKAN SUDUT KERF MINIMUM DENGAN METODA TAGUCHI

Much Chusnul Azhari¹, Doni Barmana²

Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung

Abstrak

Baja AISI 1045 merupakan salah satu bahan baku yang paling banyak digunakan di industri manufaktur. Produk dari baja ini berupa roda gigi, poros engkol, batang penghubung, dan yang lainnya, yang mempunyai kandungan karbon 0,42% - 0,5% dengan kekuatan tarik 565 N/mm². Proses pemotongan bisa dilakukan dengan pemotongan gas, plasma, laser dan water jet. Pemotongan gas oksi-asetilin merupakan teknik pemotongan baja yang banyak digunakan karena nilai ekonomisnya. Parameter utama pemotongan gas ialah kecepatan potong, tekanan oksigen potong, pemanasan awal dan jarak antara nosel dengan material. Tujuan penelitian ini ialah untuk menghasilkan parameter proses pemotongan gas yang optimum pada proses pemotongan baja AISI 1045. Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan desain eksperimental (*DOEs*) Taguchi dengan analisis *Pareto* ANOVA. Faktor terkontrol terdiri dari tiga faktor, dengan masing-masing tiga level, faktor responnya yaitu sudut kerf. Rumus S/N ratio yang digunakan ialah smaller the better. Hasil penelitian menunjukkan faktor dominan yang mempengaruhi kualitas hasil pemotongan dengan gas oksigen-asetilin ialah kecepatan pemotongan dan tekanan gas potong. Nilai parameter yang optimum untuk sudut kerf ialah kecepatan potong 250 mm/min, tekanan gas 4 Kgf/cm² dan ketinggian nosel 4 mm. Parameter optimum prediksi sudut kerf, berdasarkan hasil verifikasi dapat dijadikan acuan untuk kegiatan produksi di industri dengan nilai keberhasilan 95%

Kata Kunci: AISI 1045, S/N Rasio, Pareto Anova, sudut Kerf

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan sistem pengkodean nomenklatur yang dilakukan oleh *American Iron Steel Institute* (AISI) dan *Society of Automotive Engineers* (SAE) baja AISI 1045 merupakan jenis baja termasuk baja karbon menengah yang banyak digunakan oleh industri manufaktur yang menginginkan ketahanan aus dan kekuatan yang tinggi pada produk yang dihasilkannya. Contoh produk yang umum menggunakan material baja tersebut ialah roda gigi, poros engkol, batang penghubung, baut dan masih banyak produk lainnya. Salahsatu keunggulan baja ini adalah dapat dikerjakan dengan berbagai proses pemecinan dan pengelasan. Pemotongan material baja AISI 1045 bisa dilakukan dengan berbagai macam

proses pemotongan, baik itu menggunakan pemecinan ataupun pemotongan dengan menggunakan energi panas. Pemotongan menggunakan energi panas diantaranya menggunakan oksiasetilin, plasma, laser. Selain energi panas, dikembangkan juga pemotongan menggunakan teknologi *water jet* baik yang air murni ataupun ditambah material abrasive. Pemotongan dengan menggunakan gas akan menghasilkan sisa-sisa hasil pemotongan (*kerf*) baik itu kekasaran permukaan, lebar *kerf* dan sudut *kerf*. Pemotongan yang dinyatakan baik apabila memenuhi syarat sebagai berikut:

- Alur potong harus cukup kecil.
- Permukaan potong harus halus.
- Terak halus mudah terkelupas.

d. Sisi potong atas pemotongan tidak membulat.

Parameter pemotongan gas untuk menghasilkan kualitas atau produksi yang baik menurut *Japan Welding Engineering Society Standards* (WES 2081-2019) dipengaruhi oleh Kecepatan potong, Tekanan oksigen potong, Kekuatan nyala awal pemanasan (*Pre Heating*), Jarak antara nosel dengan benda potong.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai optimum pada proses pemotongan gas oksi-asetilin untuk menghasilkan sudut *kerf* minimum, seberapa besar pengaruh parameter pemotongan, berapa nilai sudut minimal yang didapat serta nilai parameter pemotongan yang didapat. Parameter proses pemotongan divariasikan dengan jumlah tertentu baik faktor maupun level, pengolahan data dilakukan dengan metode Taguchi.

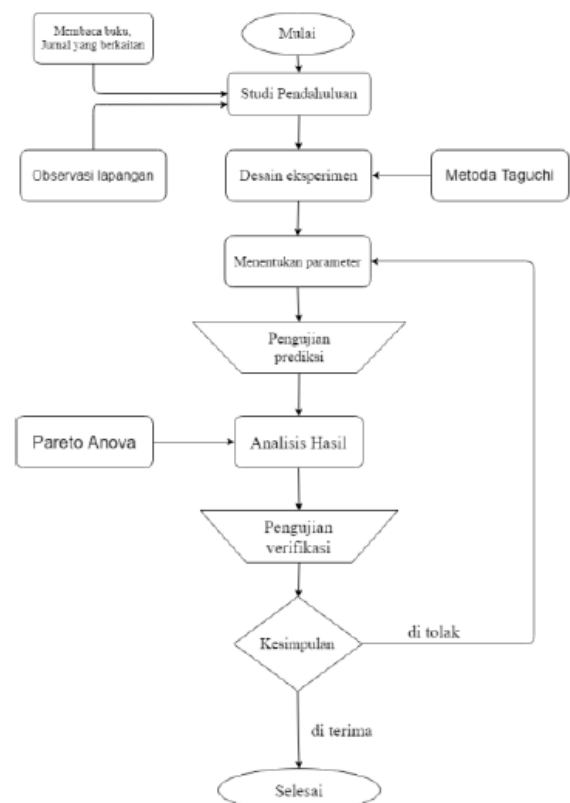
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan rancangan eksperimental murni yang mengidentifikasi karakteristik kualitas dengan metode Taguchi, terdiri 3 faktor terkendali masing-masing memiliki 3 level. Jumlah level yang ada ditentukan jumlah baris untuk matriks *orthogonal array* yaitu L9 (33).

Eksperimen	FAKTOR		
	Kecepatan potong (mm / menit)	Tekanan gas (kgf/cm ²)	Jarak nosel (mm)
1	200	3	3
2	200	4	4
3	200	5	5
4	250	3	4
5	250	4	5
6	250	5	3
7	300	3	5
8	300	4	3
9	300	5	4

Tabel 1. Rancangan orthogonal array L9 33

2.1 Diagram alir penelitian



Gambar 1. Alir penelitian eksperimen Taguchi

3. HASIL PENGUJIAN

Baja AISI 1045 disebut baja karbon karena sesuai dengan pengkodean internasional, yaitu seri 10xx berdasarkan nomenklatur yang dikeluarkan oleh AISI dan SAE (*Society of Automotive Engineers*).

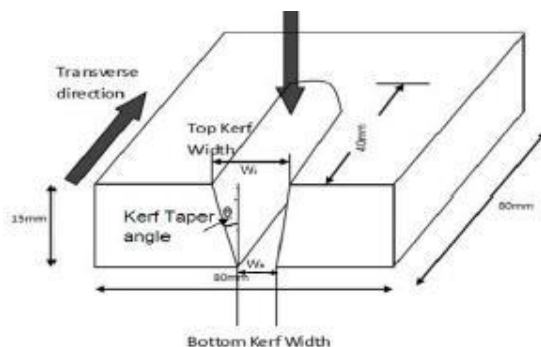
Pada angka 10 pertama merupakan kode yang menunjukkan baja karbon kemudian kode xxx setelah angka 10 menunjukkan komposisi karbon sebesar 0,45 %. Baja ini banyak digunakan sebagai komponen roda gigi, poros dan bantalan. Komposisi kimia dan propertis mekanik dari baja ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Karbon , C	Besi, Fe	Manga n, Mn	Fosfo r, P	Sulfur , S
0,42 – 0,50%	98,51 – 98,98 %	0,6 – 0,9%	\leq 0,04 %	\leq 0,05 %

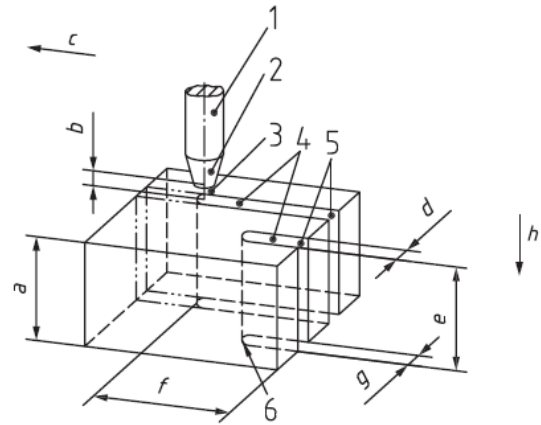
Tabel 2. Komposisi kimia AISI-1045

No	Propertis mekanik	Nilai
1.	Kekerasan	163 HB
2.	Kekuatan tarik	565 Mpa
3.	Berat jenis	7,87 gr/cm ³

Tabel 3. Propertis mekanik AISI-1045



Gambar 2. Geometri sudut kerf hasil pemotongan.



Gambar 3. Nomenklatur proses pemotongan. (EN ISO 9013;2017)

Keterangan gambar 1.

- | | | | |
|---|------------------|---|------------------------|
| 1 | Kepala nosel | A | Tebal benda |
| 2 | Nosel | B | Jarak nosel |
| 3 | Nyala api | C | Arah pemotongan |
| 4 | Hasil pemotongan | D | Lebar atas pemotongan |
| 5 | Awal pemotongan | E | Lebar pemotongan |
| 6 | Akhir pemotongan | F | Panjang pemotongan |
| | | G | Lebar bawah pemotongan |
| | | H | Arah pemotongan |

3.1 Uji Prediksi

Uji prediksi dilakukan untuk mengetahui nilai rata-rata dalam mencari setting level optimal yang dapat meminimalkan penyimpangan rata-rata, sedangkan S/N rasio untuk mencari faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variansi suatu

karakteristik kualitas. Pengukuran uji prediksi dengan mikroskop digital dengan bantuan aplikasi *image J* sebanyak 9 spesimen dengan 3 kali pengulangan. Dengan persamaan untuk mencari sudut

$$\theta = \tan^{-1} \frac{(Wt - Wb)}{2t} \quad (1)$$

dimana : θ = sudut (°)

Wt = lebar atas (mm)

Wb = lebar bawah (mm)

Persamaan untuk rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum y}{n}$$

Menggunakan pendekatan *smaller the better* untuk S/N rasio persamaannya

$$S/N_i = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y^2 \right)$$

(Park Sung H, 1996)

Dimana

n = banyaknya data penelitian

y = data yang didapat

Hasil perhitungan rata-rata sudut dan S/N rasio dapat dilihat table dibawah

NO	EKS	Rata-Rata Sudut kerf	S/N Ratio	S/N + 5
		(°)		
1	GC- 1	1,263	-2,16	2,84
2	GC- 2	1,783	-5,19	-0,19
3	GC-3	1,398	-3,18	1,82
4	GC -4	1,736	-4,95	0,05
5	GC -5	1,913	-5,71	-0,71
6	GC -6	1,669	-4,58	0,42
7	GC -7	1,697	-4,82	0,18
8	GC -8	1,982	-6,15	-1,15
9	GC -9	1,961	-5,95	-0,95

Tabel 4. Hasil data uji prediksi.

3.2 Pareto ANOVA

Taguchi menggunakan analisis variansi S/N rasio untuk mencari faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variansi suatu karakteristik

kualitas. Dalam penelitian ini pendekatan kualitas menggunakan *smaller than better*, dimana pencapaian nilai yang mendekati nol semakin baik.

Pareto ANOVA adalah suatu teknik perhitungan untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap suatu proses tanpa membutuhkan sebuah tabel ANOVA pada umumnya dan juga tidak menggunakan f-test. Langkah-langkah perhitungan sebagai berikut :

S/N rasio untuk faktor dan level

$$S_{m(i)} = \sum_{i=1}^N - S/N_{m(i)}$$

(Park Sung H, 1996)

dimana

m =Faktor (kecepatan pemotongan (A), tekanan gas (B) dan jarak nosel (C).

i = Level dari faktor (1, 2 dan 3).

Jumlah faktor level : adalah jumlah variansi nilai S/N rasio dari setiap level pada masing-masing parameter kendali. Besarnya jumlah aktor level dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$S'_m = \sum_{i=0}^n (S/N_{m(i)})^2$$

$$S'_A = \{(A_1 - A_2)^2 + (A_1 - A_3)^2 + (A_2 - A_3)^2\}$$

(Park Sung H, 1996)

Dimana :

S'm = *Sum of square* pada faktor. (m= A,B,C)

i = Level setiap faktor (i= 1, 2, 3).

Rasio Kontribusi didapatkan dengan cara membandingkan kuadrat selisih setiap masing-masing factor dengan total dari kuadrat selisih, persamaannya :

$$\rho_m = \frac{s'^m}{ST} \times 100 \%$$

(Park Sung H, 1996)

Dimana :

ρ = Sebagai simbol kontribusi rasio.

$S'm$ = Sum of square pada faktor.(m=A,B,C)

ST = Total dari jumlah factor level

Derajat kebebasan merupakan banyaknya perbandingan yang harus dilakukan antar level-level faktor (efek utama) atau interaksi yang digunakan untuk menentukan jumlah percobaan minimum yang dilakukan. Perhitungan untuk memperoleh derajat kebebasan adalah :

$\Phi_m = (\text{jumlah level factor (m =A, B, C)}) - 1$ (Park Sung H, 1996)

$\Phi_A = \text{jumlah faktor A} - 1$

E. Variansi Kesalahan Gabungan Didapat dengan persamaan

$$V_e = \frac{Sc}{\text{Jumlah faktor} - \text{faktor non signifikan} - 1}$$

(Park Sung H, 1996)

Dimana :

Sc = Jumlah faktor level untuk faktor yang non signifikan

Hasil perhitungan untuk *pareto* ANOVA dapat dilihat secara lengkap pada tabel 5 dibawah. Dari ke-3 faktor diatas dapat dilihat kecepatan pemotongan dengan nilai kontribusi rasio 75,47%, factor berikutnya adalah tekanan gas potong dengan nilai 17,48% dan terakhir ketinggian nosel dengan nilai 7,05%. Berdasarkan nilai tersebut dapat disimpulkan faktor yang signifikan pada optimasi proses pemotongan baja AISI 1045 untuk sudut *kerf* yang minimum

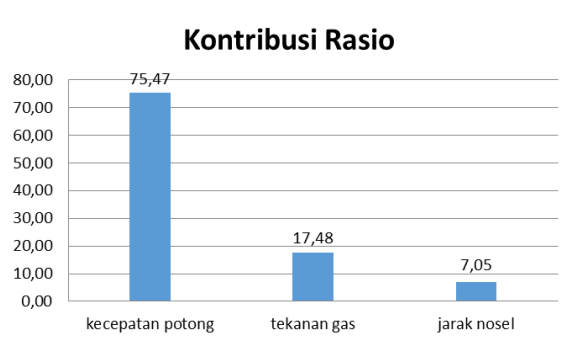
terdapat 2 faktor yaitu kecepatan pemotongan dan tekanan gas potong, sedangkan untuk factor yang tidak signifikan yaitu ketinggian nosel.

Faktor signifikan dihitung dari kumulative percobaan kontribusi yaitu dengan total percobaan sebesar 90 % dari yang terbesar ke yang terkecil Pada gambar diatas dapat di lihat kecepatan pemotongan dan tekanan gas potong merupakan factor yang signifikan pada optimasi proses pemotongan baja AISI 1045 untuk sudut *kerf* yang minimum dengan kontribusi sebesar 92,95%,. Sedangkan untuk faktor ketinggian nosel tidak signifikan dengan kontribusi 7,05 %, seperti terlihat pada gambar 4.

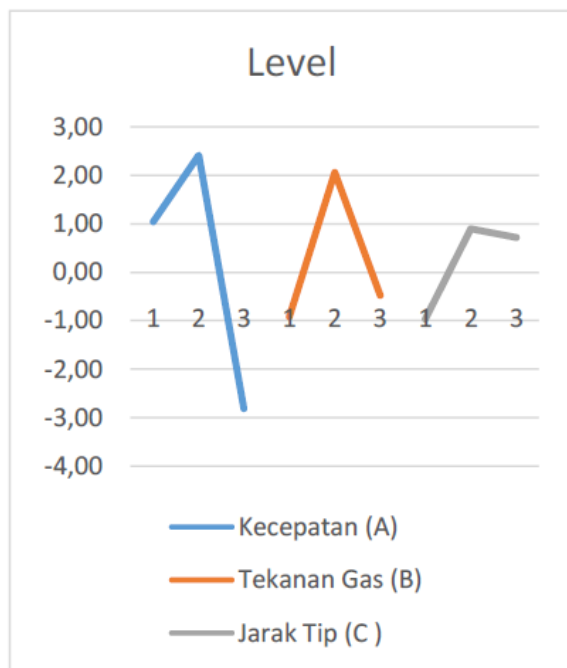
Kombinasi faktor dan level dapat di lihat pada gambar 5 dibawah, faktor dan level untuk optimasi proses pemotongan baja AISI 1045 untuk sudut *kerf* yang minimum pada kecepatan pemotongan (A) pada level 2, tekanan gas (B) pada level 2 dan ketinggian nosel (C) pada level 2 atau dapat ditulis A2B2C2.

		Kecepatan pemotongan	Tekanan Gas Potong	Ketinggian nosel	
faktor dan interaksi		A	B	C	Total
Jumlah faktor level	1	1.05	-0.92	-0.96	-0.83
	2	2.42	2.06	0.90	4.52
	3	-2.81	-0.48	0.72	-2.57
Jumlah perbedaan faktor level	(S)	46.13	10.69	4.31	61.13
Kontribusi rasio (%)		75.47	17.48	7.05	100.00
Peringkat		1	2	3	
Akumulasi kontribusi rasio	%	75.47	92.95	100.00	
Derajat kebebasan		2	2	2	
Variansi kesalahan		2.155			

Tabel 5. Analisis *pareto* ANOVA sudut *kerf*.



Gambar 4. Besar kontribusi factor untuk respon sudut kerf



Gambar 5. Kombinasi parameter proses optimal.

3.3 Uji Verifikasi

Uji verifikasi dilakukan berdasarkan hasil dari eksperimen sebelumnya bertujuan untuk membuktikan hasil yang didapat sebelumnya. Pada uji verifikasi, faktor dan level ditetapkan pada kondisi optimal yaitu faktor A2 kecepatan pemotongan 250 mm/mnt, faktor B2 tekanan gas 4 kgf/cm², dan faktor C2 ketinggian nosel 4 mm. Untuk uji verifikasi diambil 5 spesimen dengan 3

kali pengulangan pada level kondisi yang optimum Hasil perhitungan rata-rata sudut dan S/N rasio dapat dilihat dibawah ini

	EXP	Rata-Rata (°)	S/N rasio	S/N + 5
1	GCV-1	1,345	-3,016	1,984
2	GCV-2	1,423	-3,325	1,675
3	GCV-3	1,648	-4,469	0,531
4	GCV-4	1,614	-4,618	0,382
5	GCV-5	1,583	-4,864	0,136
	rata-rata	1,523	-4,058	0,942

Tabel 6. Hasil uji verifikasi

3.4 Interval Kepercayaan

Interval kepercayaan merupakan nilai maksimum dan minimum dimana diharapkan nilai rata-rata sebenarnya akan tercakup dengan beberapa persentase kepercayaan tertentu. Ketika menyatakan sebuah nilai kepercayaan untuk sesuatu interval kepercayaan, pelaku percobaan menyatakan bahwa nilai rata-rata sebenarnya akan jatuh di dalam batas-batas yang ditetapkan.

Interval kepercayaan digunakan untuk menentukan interval nilai toleransi yang mampu dicapai pada eksperimen dengan kombinasi factor dan level yang optimum. Langkah pertama adalah mengetahui S/N rasio prediksi dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$S/N \text{ prediksi} = \bar{y} + S/N_m - S/N$$

(Belavendram, 1995)

Dimana :

S/Nm = Rata – rata S/N dari factor signifikan yang ditentukan pada tingkat yang optimal.

S/N = Rata – rata dari semua S/N rasio.

\bar{y} = Rata – rata dari respon target dan dari faktor yang dipilih

$$C.I_{Prediksi} = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times Ve \times \left[\frac{1}{Neff} \right]}$$

(Belavendram, 1995)

Dengan

$$Neff = \frac{\text{Jumlah data percobaan}}{1 + \text{derajat kebebasan faktor signifikan}}$$

Dimana :

$F_{\alpha, v1, v2}$ = tabel F- rasio

α = resiko . Level kepercayaan
= 1- resiko

$v1$ = derajat bebas untuk rata-rata dan nilainya selalu 1 untuk interval kepercayaan.

$v2$ = derajat kebebasan untuk varian kesalahan.

Ve = variansi kesalahan gabungan

$$C.I_{Verifikasi} = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times Ve \times \left[\frac{1}{Neff} + \frac{1}{r} \right]}$$

(Belavendram, 1995)

Dengan

$$Neff = \frac{\text{Jumlah data percobaan}}{1 + \text{derajat kebebasan faktor signifikan}}$$

Dimana

$F_{\alpha, v1, v2}$ = tabel F-rasio

α = resiko/ Level kepercayaan
= 1- resiko

v = derajat bebas untuk rata-rata dan nilainya selalu 1 untuk interval kepercayaan

$v2$ = derajat bebas untuk varian kesalahan

Ve = variansi kesalahan gabungan

r = jumlah replika verifikasi

Untuk nilai $Neff$ yang diperoleh adalah

$$Neff = \frac{\text{jumlah data percobaan}}{1 + \text{derajat kebebasan faktor signifikan}}$$

$$= \frac{27}{1+2+2} = 5,4$$

prediksi dengan tingkat kepercayaan 95 % maka diperoleh dari table kepercayaan untuk nilai F (0,05 .1 .2) adalah 18,5 maka nilai yang didapat

$$C.I_{Prediksi} = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times Ve \times \left[\frac{1}{Neff} \right]}$$

$$C.I_{Prediksi} = \pm \sqrt{18,5 \times 2,155 \times \left[\frac{1}{5,4} \right]}$$

$$= \pm 2,72$$

verifikasi dengan tingkat kepercayaan 95 % menggunakan rumus :

$$C.I_{Verifikasi} = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times Ve \times \left[\frac{1}{Neff} + \frac{1}{r} \right]}$$

$$= \pm \sqrt{F(0,05, 1,2 \times 2,155 \times \left[\frac{1}{5,4} + \frac{1}{12} \right])}$$

$$= \pm \sqrt{18,5 \times 2,155 \times \left[\frac{1}{5,4} + \frac{1}{12} \right]}$$

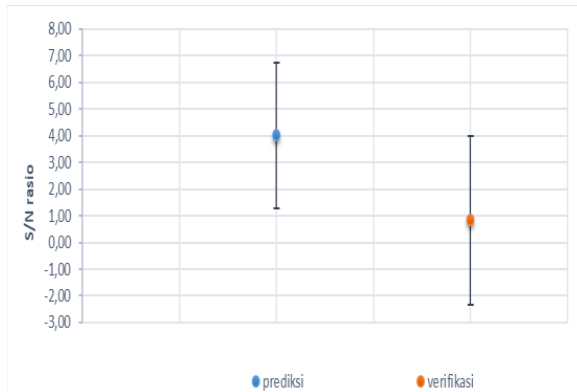
$$= \pm 3,17$$

Hasil perhitungan interval kepercayaan dapat dilihat pada gtabel dibawah

Hasil perhitungan interval kepercayaan dapat dilihat pada gtabel dibawah

	SN	CI
Prediksi	4,01	$\pm 2,72$
Verifikasi	0,94	$\pm 3,17$

Tabel 7. Perhitungan interval kepercayaan



Gambar 6. Hasil prediksi dan verifikasi untuk sudut kerf.

Hasil dari eksperimen verifikasi tersebut menunjukkan bahwa setting level optimal dapat diterima. Hal tersebut diketahui dari perbandingan interval kepercayaan antara eksperimen prediksi dengan eksperimen konfirmasi dengan menggunakan interval kepercayaan 95 % seperti yang terlihat pada gambar diatas.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat diambil beberapa simpulan bahwa perbedaan lebar atas dan lebar bawah hasil pemotongan plat yang kecil dapat menghasilkan sudut *kerf* yang minimum, kecepatan potong dan tekanan gas pada proses pemotongan plat akan mempengaruhi besar kecilnya perbedaan lebar atas dan lebar bawah pemotongan, hasil verifikasi dari 5 spesimen uji didapatkan sudut *kerf* terbesar pada spesimen 3 dengan nilai sudut 1,6480 dan sudut *kerf* terkecil pada specimen 1 dengan nilai sudut 1,3450 serta nilai parameter optimum pada

spesimen 1 adalah pada kecepatan potong 250 mm/menit, tekanan gas pada 4 kgf/cm², dan ketinggian nosel 4 mm.

4.2 Saran

Saran disampaikan untuk pengembangan dan penelitian lanjutan antara lain untuk meningkatkan keberhasilan pemotongan dapat dilakukan percobaan lanjutan yaitu dengan mengatur kembali level serta menambahkan faktor lain yang masih bisa dikendalikan dan menambah menambahkan beberapa factor percobaan lanjutan juga bisa menambahkan level untuk lebih memastikan keberhasilan sebuah pemotongan.

DAFTAR PUSTAKA

- Wiryosumarto, H, dan Toshi Okumura, 2008, *Teknologi Pengelasan Logam*, PT Balai Pustaka (Persero), Jakarta
- Belavendram, 1995. *Quality by Design : Taguchi Techniques for Industrial Experiment*. London
- Park, Sung H. 1996. *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*. Chapman & Hall. London
- WES 2801-2019. *Quality Standard for Gas Cut Surface*, The Japan Welding Engineering Society.
- Akkurt, Adnan. 2009. *Surface properties of the cut face obtained by different cutting methods form AISI 304 Stainless Steel Material*. Indian Journal of Engineering & Material Sciences 16, 373- 384

Vishal Gupta et al. *Minimization of Kerf Taper and Kerf Width using Taguchi's Method in Abrasive Water Jet Machining of Marble*. 3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation (ICMPC) 2014. 140-149.

EN ISO 9013:2017, 2017. Thermal Cutting- Classification of Thermal Cuts – Geometrical Specification and Quality Tolerances.

www.iso.org/standard/60321.html