

# Analisis Proses Laser *Cutting* dengan Variasi *Cutting Speed*, Jarak *Focusline*, dan *Gas Pressure* terhadap Kekerasan dan Kekasaran Material MS SPHC

Aditya Nugraha<sup>a</sup>, Ilham Wahyu Pradana<sup>a</sup>, Yohanes Nugroho<sup>a</sup>, Adi Nugroho<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Rekayasa Teknologi Manufaktur, Politeknik ATMI Surakarta, Jl. Adisucipto / Jl. Mojo No.1 Surakarta, Indonesia,  
Fax : +62 271-714390  
e-mail : [aditya.nugraha@atmi.ac.id](mailto:aditya.nugraha@atmi.ac.id)

## Kata kunci:

Laser  
*Cutting*;  
*Focusline*;  
*Gas Pressure*;  
Kekerasan;  
Kekasaran.

## ABSTRAK

Laser *cutting* merupakan teknologi pemotongan *sheet metal* menggunakan media laser yang dipadukan sistem CNC. Permasalahan proses laser *cutting* yaitu kecacatan permukaan hasil pemotongan dan peningkatan kekerasan material pada area permukaan hasil pemotongan laser *cutting*, disebabkan oleh ketidaksesuaian variasi parameter. Parameter laser *cutting* dalam penelitian ini yaitu *cutting speed*, jarak *focusline*, dan *gas pressure*. Variasi parameter *cutting speed* yang diteliti adalah 1440 m/min, 1620 m/min, dan 1800 m/min. Variasi jarak *focusline* yang diteliti yaitu 5,5 mm, 6,0 mm, dan 6,5 mm. Variasi parameter *gas pressure* yang digunakan yaitu 0,5 bar, 0,7 bar, dan 0,9 bar. Metode *Taguchi* digunakan untuk mendapatkan variasi dengan nilai kekerasan dan kekasaran permukaan material yang minimum. Kekasaran permukaan diuji menggunakan *surface roughness tester*, kekerasan permukaan diuji menggunakan *hardness tester brinell*. Besarnya pengaruh setiap parameter di analisis menggunakan metode ANOVA. Hasil penelitian menunjukkan parameter jarak *focusline* memiliki pengaruh terbesar terhadap kekasaran permukaan dengan persentase 50,385 %, parameter *gas pressure* adalah parameter yang paling berpengaruh terhadap kekerasan permukaan dengan persentase 54,241 %. Nilai kekasaran minimum dapat dicapai dengan parameter *cutting speed* 1800 m/min, *focusline* 5,5 mm, dan *gas pressure* 0,5 bar. Nilai kekerasan minimum dicapai dengan *cutting speed* 1800 m/min, *focusline* 6,5 mm, dan *gas pressure* 0,5 bar.

## Keywords:

Laser *Cutting*;  
*Focusline*; *Gas Pressure*;  
*Hardness*; *Roughness*.

## ABSTRACT

Laser *cutting* is a *sheet metal cutting technology* using laser media combined with a CNC system. The problems of the laser *cutting* process are defects in the surface of the *cutting product* caused by a mismatch of parameter variations. The parameters of laser *cutting* in this research are *cutting speed*, *focusing distance*, and *gas pressure*. Variations in the *cutting speed* parameters studied were 1440 m/min, 1620 m/min, and 1800 m/min. The variations in the *focusing distance* studied were 5.5 mm, 6.0 mm, and 6.5 mm. Variations in the *gas pressure* parameters used are 0.5 bar, 0.7 bar, and 0.9 bar. The *Taguchi* method is used to obtain variations with minimum hardness and surface roughness values of the material. Surface roughness was tested using a *surface roughness tester*; surface hardness was tested using a *brine hardness tester*. The magnitude of the influence of each parameter is analyzed using the ANOVA method. The results showed that the *focusing distance* parameter had the most significant effect on surface roughness, with a percentage of 50.385%, and the *gas pressure* parameter was the most influential parameter on surface hardness, with a percentage of 54.241%. The minimum roughness value can be achieved with a *cutting speed* of 1800 m/min, *focusing* of 5.5 mm, and *gas pressure* of 0.5 bar. The minimum hardness value is achieved with a *cutting speed* of 1800 m/min, a *focusing* of 6.5 mm, and a *gas pressure* of 0.5 bar.

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi industri manufaktur mendukung proses produksi untuk dapat meningkatkan nilai produktivitas dan produk memiliki akurasi yang baik. Perkembangan teknologi mesin pemotong atau *cutting machine* sudah mengalami kemajuan dengan hadirnya teknologi pemotongan

menggunakan media laser cutting [1]–[3]. Laser cutting merupakan teknologi pemotongan *sheet metal* dengan menggunakan media laser dibantu *gas cutting* dengan mengarahkan *output* dari laser daya tinggi melalui optik yang dipadukan sistem *CNC (Computer Numerical Control)* [4]–[6]. Perpaduan antara media laser dengan *gas cutting* akan menghasilkan energi panas yang dapat melelehkan material yang akan dipotong sesuai dengan daerah pengerjaannya.

Mesin laser cutting berteknologi *CNC* yang mutakhir dapat menghasilkan produk presisi dan kualitas tinggi, salah satunya yaitu mesin laser cutting *TruLaser 3030 Fiber (L49)* [7]. Mesin laser cutting *TruLaser 3030 Fiber (L49)* termasuk laser *solid state* yang dalam pembuatan sinar laser dilakukan dari benih laser yang diperkuat dan di desain khusus dalam *fiber glass* [8]. Energi mesin laser cutting fiber di-supply oleh energi dari dioda pompa. Mesin laser cutting fiber memiliki keunggulan tingkat detail dan kehalusan tinggi, minim perawatan, serta masa umur produksi lama dibandingkan mesin laser cutting *YAG* dan *CO<sub>2</sub>* [9].

Proses pemotongan mesin laser cutting membutuhkan beberapa parameter pemotongan agar material dapat terpotong dengan sempurna, antara lain *cutting speed*, jarak *focusline*, *laser power*, *nozzle distance*, dan *gas pressure* [10]–[14]. Parameter pemotongan dapat diatur ulang menyesuaikan dengan material yang akan dipotong, proses pemotongan yang akan digunakan, dan hasil pemotongan yang diinginkan. Parameter pemotongan mesin laser cutting memiliki pengaruh terhadap material yang dipotong, seperti hasil kekasaran permukaan pemotongan dan perubahan kekerasan pada material yang di potong. Laju pemotongan dapat menentukan kekasaran permukaan yang akan dihasilkan dari proses pemotongan laser cutting, semakin kecil laju pemotongan dapat menghasilkan permukaan pemotongan yang lebih halus, semakin besar laju pemotongan menghasilkan permukaan pemotongan yang lebih kasar [15]. Proses pemotongan laser cutting akan menghasilkan *Heat Affected Zone (HAZ)* sehingga menyebabkan perubahan kekerasan pada material yang di potong, kekerasan material dapat meningkat akibat material menerima perlakuan panas dalam jangka waktu tertentu [16]–[18].

Masalah yang sering terjadi dalam proses laser cutting yaitu kesulitan dalam mencari variasi *setting* parameter yang tepat untuk melakukan proses pemotongan material *sheet metal*, sehingga ketidaksesuaian parameter menyebabkan kecacatan pada hasil pemotongan, seperti permukaan hasil pemotongan yang melebihi batas standar *maximum* kelas kekasaran yaitu N10 dan produk tidak terpotong dengan baik. *Range* nilai kelas kekasaran N10 yaitu  $> 6,30 \mu\text{m} \leq 12,50 \mu\text{m}$ . Masalah lain yang terjadi setelah proses laser cutting adalah material mengalami peningkatan kekerasan pada area kerja permukaan hasil pemotongan laser cutting sehingga membutuhkan waktu dalam proses bench work. Sebagai contoh dari kedua permasalahan diatas yaitu proses *tapping* pada kontur lubang material *Mild Steel (MS) SPHC* dengan ketebalan 5 mm, kekasaran permukaan yang melebihi batas *maximum* kelas kekasaran N10 dan peningkatan kekerasan pada material menyebabkan kemungkinan tap patah di dalam kontur lubang material semakin besar. Berikut data produk *reject* di PT. ATMI Duta Engineering setelah proses pemotongan laser cutting dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data permasalahan produk *reject*

No	Produk	Material	Tebal (mm)	Jumlah (pcs)	Reject (%)	Kekasaran	Keterangan
1.	<i>Base Washing Machine</i>	<i>MS SPHC</i>	5	40	5	N12	Tap M5 Patah dan Permukaan Kasar
2.	<i>Holder Side Guide</i>	<i>MS SPHC</i>	2	20	5	N11	Permukaan kasar
3.	<i>Stand Dudukan</i>	<i>MS SPHC</i>	6	10	5	N11	Permukaan Kasar

Berdasarkan permasalahan yang sudah dijelaskan ditambah dengan data – data pendukung produk *reject*, hal yang dilakukan dalam penelitian adalah pengoptimalan beberapa parameter yang terdapat pada mesin laser cutting seperti *cutting speed*, jarak *focusline*, dan *gas pressure*. Hasil yang diharapkan pada penelitian yaitu mendapatkan variasi *setting* parameter terbaik sehingga mendapatkan nilai kekasaran yang halus dan kenaikan kekerasan yang tidak signifikan, serta mengetahui besaran persentase pengaruh setiap parameter pada hasil nilai kekasaran dan kekerasan permukaan pemotongan

laser *cutting*. Penelitian dilakukan dengan melakukan pengujian kekasaran dan kekerasan pada sampel material MS SPHC yang sudah melalui proses pemotongan laser *cutting* sesuai desain yang dibuat. Metode pengujian optimasi yang akan digunakan yaitu metode *Taguchi* yang dipadukan dengan metode ANOVA (*Analysis of Variance*).

## 2. METODE

### 2.1 Analisis S/N Ratio

Metode *Taguchi* merupakan metode penelitian berbasis pengujian untuk mengoptimasi proses kerja, parameter, dan material agar mendapatkan kombinasi model penelitian yang sesuai sehingga efektivitas dalam proses penelitian dapat tercapai [19], [20]. Metode *Taguchi* memberikan pendekatan mutu hasil pengujian melalui rumus *Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)* untuk memilih faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan kombinasi suatu respon serta menganalisis pengaruh dari faktor pengganggu terhadap hasil kombinasi. Pendekatan ini bertujuan untuk mengetahui nilai level dari faktor yang berpengaruh terhadap penelitian [5]. *S/N Ratio* terdapat 3 kategori untuk mengakomodasi proses optimasi berdasarkan karakteristik mutu yang ingin dituju oleh peneliti, yaitu *lower is better*, *nominal is the best*, dan *larger is better*.

Pada penelitian ini, karakteristik mutu *S/N Ratio lower is better* dipilih untuk mengetahui nilai level dari faktor yang berpengaruh terhadap penelitian antara respon kekerasan dan respon kekasaran permukaan, karena nilai terkecil dari *S/N Ratio* disimpulkan bahwa permukaan spesimen hasil pemotongan laser *cutting* memiliki tingkat kekasaran yang paling minimum dan tingkat kenaikan kekerasan yang tidak signifikan. Rumus *S/N Ratio lower is better* ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n y_k^2 \right) \tag{1}$$

Keterangan :

$n$  : Banyak pengulangan setiap eksperimen.

$y_k$  : Nilai setiap *run*.

### 2.2 Analysis Of Variance (ANOVA)

*Analysis of Variance (ANOVA)* adalah teknik perhitungan untuk menilai secara kuantitatif pengaruh dari setiap faktor pada semua pengukuran respons [21]. ANOVA yang digunakan dalam desain parameter berguna untuk mengidentifikasi kontribusi dari setiap faktor-faktor yang mempengaruhi dalam pengujian, sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan dengan tepat. Rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung ANOVA ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Rumus *Analysis Of Variance (ANOVA)*

Keterangan	Persamaan
Total derajat kebebasan faktor variabel	$f_T = N - 1$
Faktor setiap variabel	$f_A = k_A - 1$
Faktor <i>error</i>	$f_E = f_T - (f_A + f_B + f_N)$
Penjumlahan pangkat untuk semua variabel	$S_T = (T_{S_1}^2 + T_{S_2}^2 + T_{S_3}^2 + T_{S_N}^2) - \left( \frac{(T_{S_1} + T_{S_2} + T_{S_3} + T_{S_N})^2}{N} \right)$
Penjumlahan pangkat untuk setiap variabel	$S_A = \left( \frac{(\sum A_1)^2}{k_{A_1}} + \frac{(\sum A_2)^2}{k_{A_2}} + \frac{(\sum A_N)^2}{k_{A_N}} \right) - \frac{(T_{S_1} + T_{S_2} + T_{S_3} + T_{S_N})^2}{N}$
Penjumlahan pangkat faktor <i>error</i>	$S_E = S_T - (S_A + S_B + S_C)$

Keterangan	Persamaan
Nilai variasi untuk setiap variabel	$V_A = \frac{S_A}{f_A}$
F-rasio untuk semua variabel	$F_A = \frac{V_A}{V_E}$
Kontribusi persentase setiap variabel	$P_A = \left(\frac{S_A}{S_T}\right) \times 100$

### 2.3 Setting Faktor dan Level Parameter Proses

Penelitian terdapat 3 parameter proses yang dioptimalkan, yaitu *cutting speed*, jarak *focusline*, dan *gas pressure*. Setiap parameter proses terdiri 3 level untuk memperoleh desain faktorial atau *Orthogonal Array* (OA) agar mendapatkan variasi parameter proses yang optimum dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai level dan parameter proses pemotongan laser *cutting* yang diuji

Faktor	Parameter Proses	Level		
		1	2	3
A	<i>Cutting Speed</i> (m/min)	1440	1620	1800
B	Jarak <i>Focusline</i> (mm)	5,5	6,0	6,5
C	<i>Gas Pressure</i> (bar)	0,5	0,7	0,9

### 2.4 Desain Faktorial

Penentuan *orthogonal array* berfungsi untuk mendapatkan acuan dalam pembuatan dan pengujian spesimen. Penelitian dilakukan dengan menggunakan desain *Taguchi L<sub>9</sub> (3<sup>3</sup>) Orthogonal Array* (OA) karena terdapat 3 faktor dan 3 level yang digunakan dalam pengujian. *L<sub>9</sub>* merupakan kondisi penelitian dengan jumlah pembuatan sampel sebanyak 9 percobaan dan akan diuji di setiap kondisi penelitian tentang optimasi dari proses pemotongan mesin laser *cutting* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Desain faktorial penelitian *Taguchi* level 9 (*3<sup>3</sup>*) *Orthogonal Array* (OA)

Eksperimen (E)	<i>Cutting Speed</i> (CS) (m/min)	<i>Focusline</i> (FL) (mm)	<i>Gas Pressure</i> (GP) (bar)
1	1440	5,5	0,5
2	1440	6,0	0,7
3	1440	6,5	0,9
4	1620	5,5	0,7
5	1620	6,0	0,9
6	1620	6,5	0,5
7	1800	5,5	0,9
8	1800	6,0	0,5
9	1800	6,5	0,7

### 2.5 Alat Penelitian

Pembuatan spesimen menggunakan Mesin Laser *Cutting TruLaser 3030 Fiber* (L49) yang dilakukan di PT. ATMI Duta Engineering (Gambar 1). Pengujian spesimen hasil pemotongan laser *cutting* dilakukan di Unit Kerja *Measuring Tool* Kolese Mikael menggunakan alat ukur yang sesuai dengan masing-masing respon. Pengujian kekasaran dilakukan untuk mengetahui tingkat nilai kualitas kekasaran permukaan (*Ra*) dalam satuan ukuran mikro ( $\mu\text{m}$ ) dengan menggunakan *Surface Roughness Tester* Merek Mitutoyo *Type SJ-201P* (Gambar 2). Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui besarnya tingkat kekerasan spesimen dalam satuan ukuran *hardness vickers* (HV) dengan menggunakan *Hardness Tester* Merek Mitutoyo *Hardmatic Type 810-299 HH-299* dengan skala *Brinell* (Gambar 3).





Gambar 1. Mesin Laser Cutting TruLaser 3030 Fiber (L49)



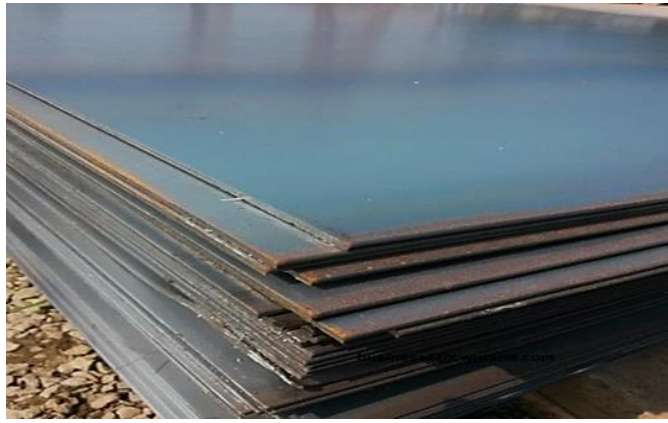
Gambar 2. Surface roughness tester merek Mitutoyo Type SJ-201P



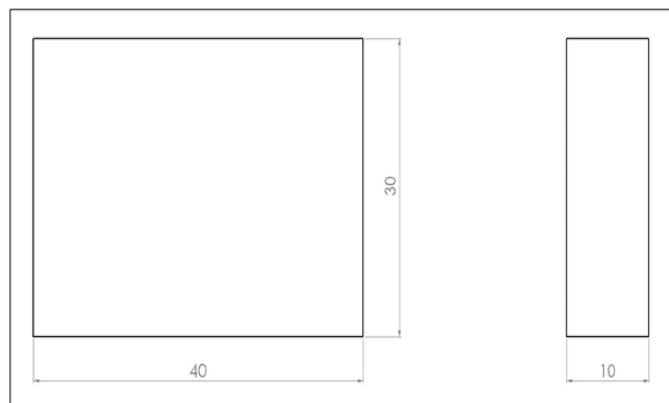
Gambar 3. Hardness tester merek Mitutoyo Hardmatic Type 810-299 HH-299

## 2.6 Bahan Penelitian

Spesimen menggunakan material *MS SPHC* (ASTM A-36) dengan dimensi 40 mm x 30 mm dan ketebalan 10 mm. Rata-rata kekerasan material *MS SPHC* sebelum dilakukan proses pemotongan laser *cutting* yaitu sebesar 180 HV. Material spesimen penelitian ditunjukkan pada Gambar 4, serta dimensi ukuran spesimen penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Material MS SPHC (ASTM A-36) tebal 10 mm



Gambar 5. Dimensi ukuran spesimen penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Analisis *Signal to Noise Ratio* (*S/N Ratio*)

Nilai *S/N Ratio* diperoleh dari perhitungan pengolahan data rata-rata hasil pengujian yang dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali setiap kondisi percobaan. Rumus *S/N Ratio lower is better* (Persamaan 1) dipilih untuk mengetahui nilai level dari faktor yang berpengaruh terhadap penelitian respon kekerasan dan kekasaran permukaan, karena nilai level faktor terkecil menunjukkan kekasaran permukaan spesimen hasil pemotongan laser *cutting* memiliki nilai minimum dan kekerasan material tidak mengalami kenaikan yang signifikan. Tabel 5 menunjukkan hasil pengolahan data pengujian kekasaran permukaan, dan Tabel 6 menunjukkan hasil pengolahan data pengujian kekerasan permukaan.

Tabel 5. *S/N ratio surface roughness (R)*

E	Control Parameters			Experimental Value				S/N Ratio R
	CS (m/min)	FL (mm)	GP (bar)	Roughness – R ( $\mu\text{m}$ )			Average	
				1	2	3		
1	1440	5,5	0,5	7,94	7,49	6,93	7,452	-17,446
2	1440	6,0	0,7	9,00	9,29	9,94	9,407	-19,469
3	1440	6,5	0,9	11,08	11,12	13,66	11,954	-21,551
4	1620	5,5	0,7	7,98	8,94	8,87	8,597	-18,687
5	1620	6,0	0,9	10,24	10,47	10,52	10,411	-20,350
6	1620	6,5	0,5	10,78	11,06	10,69	10,842	-20,702
7	1800	5,5	0,9	9,00	8,99	11,21	9,733	-19,765
8	1800	6,0	0,5	6,80	7,64	7,51	7,318	-17,288
9	1800	6,5	0,7	10,02	10,20	10,05	10,090	-20,078

Berdasarkan Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan *S/N Ratio* pengujian kekasaran permukaan percobaan ke- 8 memiliki kondisi kekasaran permukaan minimum dengan rata-rata nilai kekasaran 7,318  $\mu\text{m}$  dan nilai *S/N Ratio* diangka 17,288.

Tabel 6. *S/N ratio surface hardness (H)*

E	Control Parameters			Experimental Value				<i>S/N Ratio H</i>
	CS (m/min)	FL (mm)	GP (bar)	Hardness – H (HV)				
				1	2	3	Average	
1	1440	5,5	0,5	198,000	200,667	202,667	200,444	-46,040
2	1440	6,0	0,7	203,667	205,667	205,667	205,000	-46,235
3	1440	6,5	0,9	201,000	201,667	203,333	202,000	-46,107
4	1620	5,5	0,7	201,333	203,667	204,667	203,222	-46,159
5	1620	6,0	0,9	203,000	204,667	201,000	202,889	-46,145
6	1620	6,5	0,5	199,000	198,333	198,000	198,444	-45,953
7	1800	5,5	0,9	197,333	199,333	201,333	199,333	-45,992
8	1800	6,0	0,5	199,333	202,667	200,667	200,889	-46,059
9	1800	6,5	0,7	203,333	200,333	202,000	201,889	-46,102

Berdasarkan Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan *S/N Ratio* pengujian kekerasan permukaan percobaan ke- 7 memiliki kondisi kekerasan permukaan minimum dengan rata-rata nilai kekerasan 199.333 HV dan nilai *S/N Ratio* diangka 45,992. Rata-rata kekerasan material MS SPHC setelah dilakukan proses pemotongan laser *cutting* yaitu sebesar 201,444 HV.

Hasil perhitungan nilai *S/N Ratio Lower Is Better* pengujian kekasaran dan kekerasan permukaan memiliki fungsi sebagai dasar untuk menarik kesimpulan dari nilai variabilitas setiap *control parameters* yang digunakan. Nilai variabilitas menunjukkan hubungan antara *control parameters* dan level yang memberikan *noise* terbesar atau terkecil. Data nilai variabilitas setiap *control parameter* dapat menghasilkan data variasi parameter terbaik dan urutan pengaruh dari setiap *control parameter* pada masing-masing pengujian. Tabel 7 menunjukkan data nilai variabilitas *control parameter* pengujian kekasaran permukaan, dan Tabel 8 menunjukkan data nilai variabilitas *control parameter* pengujian kekerasan permukaan.

Tabel 7. Data nilai variabilitas *control parameters surface roughness*

Control Parameters	<i>S/N Ratio Surface Roughness</i>		
	<i>Cutting Speed (m/min)</i>	<i>Focusline (mm)</i>	<i>Gas Pressure (bar)</i>
Level 1	-19,488	-18,633	-18,479
Level 2	-19,913	-19,035	-19,411
Level 3	-19,044	-20,777	-20,555
<i>Difference</i>	0,869	2,144	2,077
<i>Rank</i>	3	1	2

Dari Tabel 7 dapat diketahui urutan *control parameter* yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan yaitu *focusline*, *gas pressure*, dan *cutting speed*. Kombinasi parameter terbaik untuk mendapatkan nilai kekasaran yang minimum terdapat pada *cutting speed* level 3 dengan kecepatan 1800 (m/min), *focusline* level 1 dengan jarak 5,5 mm, dan *gas pressure* level 1 sebesar 0,5 bar. setiap *control parameter* pengujian kekerasan permukaan.

Tabel 8. Data nilai variabilitas *control parameters surface hardness*

<i>Control Parameters</i>	<i>S/N Ratio Surface Hardness</i>		
	<i>Cutting Speed (m/min)</i>	<i>Focusline (mm)</i>	<i>Gas Pressure (bar)</i>
Level 1	-46,127	-46,064	-46,017
Level 2	-46,086	-46,146	-46,166
Level 3	-46,051	-46,054	-46,081
<i>Difference</i>	0.076	0.092	0.148
<i>Rank</i>	3	2	1

Dari Tabel 8 dapat diketahui urutan *control parameter* yang berpengaruh terhadap kekerasan permukaan yaitu *gas pressure*, *focusline*, dan *cutting speed*. Kombinasi parameter terbaik untuk mendapatkan nilai kekerasan yang minimum terdapat pada *cutting speed* level 3 dengan kecepatan 1800 (m/min), *focusline* level 3 dengan jarak 6,5 mm, dan *gas pressure* level 1 sebesar 0,5 bar.

### 3.2 Confirmation Test

*Confirmation test* merupakan bentuk proses konfirmasi data untuk memastikan bahwa data yang didapatkan dari proses penelitian valid. Hasil pengujian yang sudah diproses dengan metode *Taguchi*, maka akan dilakukan proses validasi untuk mendapatkan nilai kekasaran dan kekerasan permukaan yang minimal dengan parameter strategi pemotongan yang optimal dibuktikan dengan spesimen baru[5]. Tabel 9 menunjukkan hasil validasi data pengujian kekasaran permukaan dari *control parameters* terbaik, dan Tabel 10 menunjukkan hasil validasi data *control parameters* terbaik pengujian kekerasan permukaan.

Tabel 9. Data hasil *confirmation test* untuk kekasaran permukaan terbaik

<i>Val.</i>	<i>Control Parameters</i>			<i>Experimental Value</i>				<i>S/N Ratio R</i>
	<i>CS (m/min)</i>	<i>FL (mm)</i>	<i>GP (bar)</i>	<i>Roughness – R (µm)</i>				
				1	2	3	<i>Average</i>	
1	1800	5,5	0,5	7,04	7,32	7,45	7,270	-17,231

Dari Tabel 9 dapat diketahui bahwa hasil validasi dari kombinasi *control parameters* terbaik untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan minimum yaitu dengan *cutting speed* 1800 m/min, *focusline* 5,5 mm, dan *gas pressure* 0,5 bar dengan replikasi sebanyak 3 kali spesimen menghasilkan rerata kekasaran permukaan sebesar 7,270 µm.

Tabel 10. Data hasil *confirmation test* untuk kekerasan permukaan terbaik

<i>Val.</i>	<i>Control Parameters</i>			<i>Experimental Value</i>				<i>S/N Ratio H</i>
	<i>CS (m/min)</i>	<i>FL (mm)</i>	<i>GP (bar)</i>	<i>Hardness – H (HV)</i>				
				1	2	3	<i>Average</i>	
1	1800	6,5	0,5	198,667	197,667	198,667	198,333	-45,948

Dari Tabel 10 dapat diketahui bahwa hasil validasi dari kombinasi *control parameters* terbaik untuk mendapatkan nilai kekerasan permukaan minimum yaitu dengan *cutting speed* 1800 m/min, *focusline* 6,5 mm, dan *gas pressure* 0,5 bar dengan replikasi sebanyak 3 kali spesimen menghasilkan rerata kekerasan permukaan sebesar 198,333 HV.

### 3.3 Analisis Metode ANOVA

Perhitungan ANOVA untuk proses optimasi parameter laser *cutting* dengan tujuan mendapatkan nilai kekasaran dan kekerasan permukaan yang minimum menggunakan rumus pada Tabel 2. Hasil dari perhitungan ANOVA dikelompokkan berdasarkan setiap pengujian yang selanjutnya akan dilakukan



analisis. Tabel 11 menunjukkan hasil persentase kontribusi parameter pengujian kekasaran permukaan, dan Tabel 12 menunjukkan hasil persentase kontribusi parameter pengujian kekerasan permukaan.

Tabel 11. Persentase kontribusi parameter *Surface Roughness*

Source	Derajat Kebebasan (f)	Nilai Penjumlahan Pangkat (S)	Nilai Variasi (V)	Nilai F-Rasio (F)	Nilai Kontribusi Persentase (P) %
<i>Cutting Speed</i>	2	1,245	0,623	1,305	6,615
<i>Focusline</i>	2	9,487	4,743	9,940	50,385
<i>Gas Pressure</i>	2	7,142	3,571	7,483	37,932
<i>Error</i>	2	0,954	0,477	-	5,069
Total	8	18,828	-	-	100

Tabel 11 menunjukkan hasil perhitungan ANOVA persentase kontribusi parameter proses pada pengujian kekasaran permukaan. Parameter proses yang paling berkontribusi dalam menentukan besarnya nilai kekasaran permukaan adalah *focusline* sebesar 50,385 %. Hasil tersebut menunjukkan bahwa jika ingin mengoptimalkan nilai kekasaran permukaan hasil pemotongan laser *cutting*, maka parameter yang harus diperbaiki adalah jarak *focusline*.

Tabel 12. Persentase kontribusi parameter *Surface Hardness*

Source	Derajat Kebebasan (f)	Nilai Penjumlahan Pangkat (S)	Nilai Variasi (V)	Nilai F-Rasio (F)	Nilai Kontribusi Persentase (P) %
<i>Cutting Speed</i>	2	4,752	2,376	2,392	14,389
<i>Focusline</i>	2	8,373	4,187	4,215	25,355
<i>Gas Pressure</i>	2	17,912	8,956	9,018	54,241
<i>Error</i>	2	1,986	0,993	-	6,015
Total	8	33,023	-	-	100

Tabel 12 menunjukkan hasil perhitungan ANOVA persentase kontribusi parameter proses pada pengujian kekerasan permukaan. Parameter proses yang paling berpengaruh dalam menentukan kenaikan kekerasan permukaan material adalah *gas pressure* sebesar 54,241 %. Pada pengujian kekerasan permukaan hasil pemotongan laser *cutting*, parameter lainnya juga memiliki pengaruh tetapi tidak terlalu besar jika dilihat berdasarkan persentasenya.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan yang telah dilakukan, maka optimasi parameter dengan metode *Taguchi* yang dipadukan dengan metode ANOVA dapat menentukan parameter optimum mesin laser *cutting* guna mendapatkan hasil pemotongan dengan nilai kekasaran dan kekerasan yang minimum beserta persentase kontribusi setiap parameter yang mempengaruhi hasil kekasaran dan kekerasan permukaan material MS SPHC.

1. Nilai kekasaran permukaan minimum diperoleh dengan variasi parameter *cutting speed* 1800 m/min, *focusline* 5,5 mm, dan *gas pressure* 0,5 bar. Nilai kekerasan minimum diperoleh dengan variasi parameter *cutting speed* 1800 m/min, *focusline* 6,5 mm, dan *gas pressure* 0,5 bar.
2. Persentase kontribusi parameter yang mempengaruhi hasil kekasaran permukaan, yaitu 50,385 % *focusline*, 37,932 % *gas pressure*, 6,615 % *cutting speed*, dan faktor *error* sebesar 5,069 %. Persentase kontribusi parameter yang mempengaruhi hasil kekerasan permukaan, yaitu 54,241 % *gas pressure*, 25,355 % *focusline*, 14,389 % *cutting speed* dan faktor *error* sebesar 6,015 %. Rata-rata kenaikan kekerasan material MS SPHC sebelum dengan setelah proses pemotongan menggunakan laser *cutting* yaitu sebesar 21,444 HV. Besarnya kekasaran dan kekerasan permukaan mempengaruhi terjadinya tap mengalami patah saat proses *tapping* material hasil pemotongan laser *cutting*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Graham T., *Cutting Tool Technology: Industrial Handbook*, no. 1. Springer Science & Business Media, 2008.
- [2] J. Powell, *CO2 Laser Cutting*, vol. 214. Springer, 1993. doi: 10.1007/978-1-4471-3384-1.
- [3] A. Shokrani, V. Dhokia, and S. T. Newman, "Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 57, pp. 83–101, 2012.
- [4] M. A. Hidayat, A. Farid, and P. Suwandono, "Analisa parameter pada pemotongan plate menggunakan CNC fiber laser cutting terhadap kekasaran permukaan," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 2, 2021, doi: 10.24127/trb.v10i2.1737.
- [5] M. Alsaadawy, M. Dewidar, A. Said, I. Maher, and T. A. Shehabeldeen, "A comprehensive review of studying the influence of laser cutting parameters on surface and kerf quality of metals," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, pp. 1–36, 2023.
- [6] G. C. Rodrigues, M. Cuypers, E. F. Sichani, K. Kellens, and J. R. Duflou, "Laser cutting with direct diode laser," *Phys. Procedia*, vol. 41, pp. 558–565, 2013.
- [7] M. Avvari, M. Manjaiah, M. Able, R. F. Laubscher, and K. Raghavendra, "Optimization of hole characteristics during pulse Nd: YAG laser drilling of commercially pure titanium alloy," *Lasers Manuf. Mater. Process.*, vol. 4, pp. 76–91, 2017.
- [8] S. Santosh, J. K. Thomas, M. Pavithran, G. Nithyanandh, and J. Ashwath, "An experimental analysis on the influence of CO2 laser machining parameters on a copper-based shape memory alloy," *Opt. Laser Technol.*, vol. 153, p. 108210, 2022.
- [9] C. Wandera, "Laser cutting of austenitic stainless steel with a high quality laser beam," 2006.
- [10] P. Khatak, "Laser cutting technique: A literature review," *Mater. Today Proc.*, vol. 56, pp. 2484–2489, 2022.
- [11] H. A. Eltawahni, M. Hagino, K. Y. Benyounis, T. Inoue, and A.-G. Olabi, "Effect of CO2 laser cutting process parameters on edge quality and operating cost of AISI316L," *Opt. Laser Technol.*, vol. 44, no. 4, pp. 1068–1082, 2012.
- [12] D. Schneider et al., "Non-destructive characterization of CVD diamond films on cemented carbide cutting tools," *Diam. Relat. Mater.*, vol. 7, no. 2–5, pp. 589–596, 1998.
- [13] S. Pradhan, S. R. Das, P. C. Jena, and D. Dhupal, "Machining performance evaluation under recently developed sustainable HAJM process of zirconia ceramic using hot SiC abrasives: An experimental and simulation approach," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 236, no. 2, pp. 1009–1035, 2022.
- [14] F. Schneider, D. Petring, and R. Poprawe, "Increasing laser beam cutting speeds," in *Proc. ICALEO*, 2000, pp. 132–141.
- [15] R. R. K. BW, and A. I. Juniani, "Optimasi Parameter Mesin Laser Cutting Terhadap Kekasaran Dan Laju Pemotongan Pada Sus 316L Menggunakan Taguchi Grey Relational Analysis Method," *J@ti Undip J. Tek. Ind.*, vol. 11, no. 2, p. 97, 2016, doi: 10.14710/jati.11.2.97-106.
- [16] R. A. Himarosa et al., "Effect of MIG Welding Speed Butt-Joint on Physical and Mechanical Properties of Materials AA 5083," *Mater. Today Proc.*, vol. 66, pp. 3101–3106, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.08.011.
- [17] R. A. Himarosa et al., "Simultaneous Double-Sided Metal Inert Gas Welding of AA5052 Aluminum Alloy T-Joints," vol. 1067, pp. 53–59, 2022, doi: 10.4028/p-t0072n.
- [18] C. Leone and S. Genna, "Heat affected zone extension in pulsed Nd:YAG laser cutting of CFRP," *Compos. Part B Eng.*, vol. 140, pp. 174–182, 2018, doi: 10.1016/j.compositesb.2017.12.028.
- [19] P. Asadi, M. Akbari, M. K. Besharati Givi, and M. Shariat Panahi, "Optimization of AZ91 friction stir welding parameters using Taguchi method," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part L J. Mater. Des. Appl.*, vol. 230, no. 1, pp. 291–302, 2016.
- [20] S. Ab Ghani, N. A. Muhamad, Z. A. Noorden, H. Zainuddin, and A. A. Ahmad, "Multi-response optimization of the properties of natural ester oil with mixed antioxidants using taguchi-based methodology," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 24, no. 3, pp. 1674–1684, 2017.
- [21] R. E. Miller, "Analysis of Variance.," *Chem. Eng. (New York)*, vol. 92, no. 6, pp. 173–178, 1985, doi: 10.4324/9781410600875-41.