

OPTIMASI PARAMETER PEMOTONGAN *LASER CUTTING* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN PADA MATERIAL ALUMINIUM DENGAN METODE TAGUCHI

Sahita Dyah Purwa Ratri¹, Farizi Rachman^{1*}, Amanda Rosalina¹

¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

*Email: farizirachman@ppns.ac.id

Abstrak

Di era industri modern saat ini, perkembangan teknologi terus mengalami kemajuan pesat dan menjangkau berbagai sektor, termasuk bidang manufaktur yang menuntut efisiensi dan kualitas produk yang tinggi. Salah satu pendekatan yang digunakan untuk mencapai tujuan tersebut adalah optimasi parameter, yaitu metode yang diterapkan dalam proses manufaktur guna memperoleh kualitas produk yang optimal melalui serangkaian kegiatan penelitian terstruktur. Pada mesin *laser cutting*, terdapat sejumlah parameter yang mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan dan kecepatan pemotongan material Aluminium 5083. Oleh karena itu, diperlukan optimasi parameter pemotongan agar dihasilkan kualitas permukaan yang terbaik dan memenuhi standar industri. Penelitian ini menggunakan metode Taguchi karena dinilai efisien dalam mengoptimalkan banyak variabel dengan desain eksperimen yang terorganisir menggunakan matriks *orthogonal* L9(3⁴). Evaluasi kualitas permukaan dilakukan dengan perhitungan rasio *Signal-to-Noise* (*Smaller is Better*) untuk menilai pengaruh empat parameter utama, yaitu titik fokus, tekanan gas, jarak *nozzle*, dan daya laser, masing-masing pada tiga level pengujian. Material yang digunakan adalah Aluminium 5083 dengan ketebalan 6 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi parameter optimal untuk meminimalkan kekasaran permukaan terdapat pada tekanan gas 14 bar, jarak *nozzle* 0,6 mm, dan daya laser 2250 W. Berdasarkan analisis ANOVA, kontribusi terbesar terhadap kekasaran permukaan berasal dari daya laser sebesar 43,11%, diikuti oleh jarak *nozzle* sebesar 33,62%, tekanan gas sebesar 12,32%.

Kata kunci: ANOVA, kekasaran permukaan, *laser cutting*, metode taguchi

Abstract

In the modern industrial era, technological advancements are rapidly progressing and transforming various sectors, particularly the manufacturing industry, which demands high efficiency and superior product quality. One effective approach to meet these demands is parameter optimization, a method applied in manufacturing processes to achieve optimal product quality through structured experimental research. In laser cutting operations, several process parameters significantly influence the surface roughness and cutting performance of Aluminum 5083 material. Therefore, parameter optimization is essential to obtain the best possible surface quality that meets industrial requirements. This study applies the Taguchi method due to its efficiency in optimizing multiple variables using an experimental design based on an L9(3⁴) orthogonal array. Surface quality was evaluated using the Signal-to-Noise (S/N) ratio under the "Smaller is Better" criterion to analyze the effects of four key parameters; focal point, gas pressure, nozzle distance, and laser power, each tested at three levels. Aluminum 5083 with a thickness of 6 mm was used as the workpiece. The results indicate that the optimal combination of parameters for minimizing surface roughness was achieved with a gas pressure of 14 bar, a nozzle distance of 0.6 mm, and a laser power of 2250 W. ANOVA analysis revealed that laser power contributed the most to surface roughness (43.11%), followed by nozzle distance (33.62%) and gas pressure (12.32%).

Keywords: ANOVA, laser cutting, surface roughness, taguchi method

PENDAHULUAN

Dalam era manufaktur modern, tuntutan terhadap kecepatan, presisi, dan efisiensi produksi mendorong pemanfaatan teknologi pemotongan berbasis komputer, salah satunya mesin *Computer Numerical Control (CNC) laser cutting*. Mesin TruLaser 1040 Fiber merupakan salah satu teknologi pemotongan presisi tinggi yang banyak digunakan dalam industri fabrikasi logam, khususnya untuk material lembaran seperti aluminium. Keunggulan utama dari teknologi ini adalah kemampuannya menghasilkan pemotongan bersih dan akurat dalam waktu yang relatif singkat. Namun, dalam praktiknya, proses pemotongan aluminium, terutama jenis 5080, masih menghadapi tantangan terkait kualitas permukaan hasil potongan.

Salah satu permasalahan yang sering dijumpai adalah kekasaran permukaan (*surface roughness*) yang tinggi, Rakasita (2016) menyatakan bahwa variasi pada kekasaran permukaan dipengaruhi secara signifikan oleh parameter seperti titik fokus, kecepatan pemotongan, dan tekanan gas, sehingga pengendalian parameter tersebut menjadi aspek penting dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas hasil pemotongan, apabila tidak dikendalikan dengan baik, hal ini akan meningkatkan kebutuhan proses *finishing*, sehingga menambah biaya dan waktu produksi. Oleh karena itu, optimasi parameter pemotongan menjadi langkah penting dalam meningkatkan kualitas produk serta efisiensi proses produksi.

Metode pengujian optimasi yang akan digunakan adalah metode Taguchi dipadukan dengan metode ANOVA (*Analysis Of Variance*) yang dapat digunakan untuk mencari besarnya dari setiap parameter yang berpengaruh terhadap suatu proses (Ibrahim et al., 2020). Dengan menggunakan pendekatan desain matriks *orthogonal*, metode ini mampu mengevaluasi pengaruh masing-masing parameter terhadap respon kekasaran permukaan.

TINJAUAN PUSTAKA

(A) Mesin dan Material

Aluminium merupakan logam paling melimpah di kerak bumi setelah oksigen dan silikon. Aluminium 5083, yang termasuk paduan Al-Mg, banyak digunakan dalam aplikasi teknik industri karena sifat mekaniknya yang baik. Namun, dalam proses pemotongan, aluminium memiliki tingkat reflektivitas tinggi terhadap panjang gelombang laser CO₂ (~10,6 μ m), yang dapat mencapai hingga 90%. Akibatnya, sebagian besar energi laser dipantulkan kembali dan tidak terserap secara efektif pada area pemotongan. Kondisi ini menurunkan efisiensi proses, meningkatkan kekasaran permukaan, serta menghasilkan tepian potong yang tidak rata dan rentan terhadap oksidasi. Komposisi dari material Aluminium 5080 ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Aluminium 5080

Elemen	Si	Fe	Cu	MN	Mn	Zn	Ti	Cr
Aluminium 5080	0,4	0,4	0,1	1	4,9	0,25	0,15	0,25



Gambar 1. Mesin CNC *Laser Cutting* TruLaser 1040

Pemotongan material dalam penelitian ini menggunakan mesin CNC *laser cutting* TRUMPF TruLaser 1040 pada Gambar 1, mesin buatan TRUMPF, Jerman, ini dirancang untuk pemotongan presisi tinggi pada logam lembaran dan menggunakan gas pemotongan berupa oksigen atau nitrogen, tergantung jenis material. Untuk aluminium, nitrogen dipilih karena tidak membentuk oksida, menjaga kebersihan hasil potongan, mendinginkan area potong, serta mempertahankan kualitas tepi dan warna permukaan.

Kualitas hasil potong dapat dipengaruhi oleh titik fokus sinar laser, tekanan gas, jarak *nozzle*, dan daya laser. Titik fokus menentukan konsentrasi panas pada material; penempatan yang tepat menghasilkan permukaan halus, sementara fokus yang terlalu dalam atau terlalu jauh menurunkan akurasi dan menyebabkan cacat permukaan. Tekanan gas *cutting* berfungsi mengeluarkan lelehan (*slag*) dari zona potong dan harus disesuaikan dengan jenis serta ketebalan material agar hasil akhir bersih dan bebas sisa. Jarak *nozzle* memengaruhi distribusi tekanan gas; pengaturan optimal memastikan pembuangan *slag* berlangsung efisien dan menghasilkan tepi potong yang presisi. Daya laser menentukan kemampuan penetrasi terhadap ketebalan material dan memengaruhi kecepatan pemotongan. Daya yang terlalu rendah menghambat proses, sedangkan daya berlebih dapat menurunkan kualitas potong. Oleh karena itu, seluruh parameter tersebut harus dikendalikan secara tepat untuk memperoleh hasil yang optimal dari segi kualitas permukaan dan efisiensi proses.

(B) Taguchi

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode Taguchi sebagai strategi optimasi karena kemampuannya dalam menentukan kombinasi parameter proses terbaik, terutama ketika melibatkan lebih dari satu respon. Dikembangkan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1940, metode ini merupakan pendekatan statistik yang dirancang untuk meningkatkan kualitas proses melalui rancangan eksperimen yang efisien dan tahan terhadap variasi yang tidak dapat dikendalikan (*noise*), seperti perubahan kondisi lingkungan, karakteristik material, maupun pengaruh operator (Soejanto, 2009).

Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya menyederhanakan proses eksperimen melalui penggunaan matriks *orthogonal*, yang memungkinkan eksplorasi berbagai kombinasi parameter dengan jumlah uji coba yang minimal. Dalam studi ini, digunakan matriks L9(3⁴) karena mencakup empat parameter dengan tiga level pada masing-masing faktor, dan menghasilkan delapan derajat kebebasan. Informasi detail terkait parameter dan level uji disajikan pada Tabel 2, sedangkan struktur rancangan eksperimen ditunjukkan pada Tabel 3. Walaupun metode ini tidak secara eksplisit

mengevaluasi interaksi antar faktor, efektivitasnya dalam optimasi parameter telah terbukti luas di berbagai aplikasi proses manufaktur karena efisiensi dari sisi waktu, biaya, dan sumber daya.

Tabel 2. Nilai Parameter dan Level Eksperimen

Level	Titik Fokus Sinar Laser	Tekanan Gas Cutting	Jarak Nozzle	Daya Laser
Level 1	-4 mm	12 bar	0,6 mm	2250 W
Level 2	-6 mm	14 bar	1 mm	2500 W
Level 3	-8 mm	16 bar	1,4 mm	2750 W

Tabel 3. Variasi Pelaksanaan Eksperimen

Eksperimen	L ₉ (3 ⁴)			
	Titik Fokus Sinar Laser	Tekanan Gas Cutting	Jarak Nozzle	Daya Power
1	-4 mm	12 bar	0,6 mm	2250 W
2	-4 mm	14 bar	1 mm	2500 W
3	-4 mm	16 bar	1,4 mm	2750 W
4	-6 mm	12 bar	1 mm	2500 W
5	-6 mm	14 bar	1,4 mm	2250 W
6	-6 mm	16 bar	0,6mm	2750 W
7	-8 mm	12 bar	1,4 mm	2500 W
8	-8 mm	14 bar	0,6 mm	2750 W
9	-8 mm	16 bar	1 mm	2250 W

Rangkaian eksperimen diawali dengan identifikasi permasalahan terkait kekasaran permukaan hasil pemotongan, yang dinilai berdampak pada kualitas produk. Tujuan utama dari penelitian ini adalah memperoleh konfigurasi parameter proses yang optimal agar permukaan hasil potongan menjadi lebih halus dan sesuai standar kualitas. Parameter proses yang ditetapkan sebagai variabel bebas meliputi titik fokus sinar laser, tekanan gas pemotongan, jarak *nozzle*, dan daya laser, sementara kekasaran permukaan (*Ra*) menjadi variabel terikat sebagai respon yang diukur.

Masing-masing parameter ditentukan dalam tiga level variasi, dengan tujuan memperoleh data yang memadai untuk menganalisis pengaruh perubahan parameter terhadap kualitas permukaan. Derajat kebebasan dihitung sebagai dasar dalam pemilihan matriks *orthogonal* yang paling tepat. Setelah ditentukan, kombinasi faktor dan level disusun ke dalam matriks sehingga setiap baris mewakili kondisi eksperimen tertentu, dan kolom mencerminkan parameter yang dimodifikasi. Pendekatan ini memberikan rancangan eksperimen yang terstruktur, hemat sumber daya, namun tetap representatif dalam mengevaluasi pengaruh parameter terhadap kekasaran permukaan.

(C) Kekasaran

Kekasaran permukaan merupakan parameter penting dalam menentukan kualitas material, khususnya saat difungsikan sebagai komponen teknik. Setiap komponen memiliki batas kekasaran tertentu untuk menjamin performa dan kesesuaian

fungsional. Kekasaran didefinisikan sebagai ketidakraturan mikro pada permukaan material, yang terbentuk akibat interaksi termal selama proses pemotongan. Dalam proses *laser cutting*, kontur permukaan berupa alur atau kawah mikro terbentuk akibat pelelehan dan penguapan material oleh energi laser. Pola kekasaran yang dihasilkan dipengaruhi oleh parameter proses seperti daya laser, kecepatan potong, dan tekanan gas, yang secara langsung memengaruhi kedalaman serta distribusi ketidakraturan pada permukaan hasil potong.

Parameter Ra (penyimpangan rata-rata aritmatika) merupakan nilai rata-rata dari ordinat profil efektif terhadap garis rata-rata permukaan. Profil efektif menggambarkan bentuk potongan permukaan aktual pada bidang acuan dibandingkan dengan permukaan geometris ideal. Ra menjadi parameter yang paling umum digunakan dalam mengidentifikasi kekasaran permukaan, khususnya pada produksi massal, karena lebih sensitif terhadap variasi hasil pemesinan dibandingkan parameter kekasaran lainnya (Rochim, 2001). Penggunaan Ra dinilai efektif dalam memverifikasi konsistensi kualitas permukaan akhir karena mampu mendeteksi penyimpangan mikro secara akurat (Sato & Sugiarto, 1994).

Pengujian kekasaran permukaan dalam penelitian ini dilakukan menggunakan parameter Ra (rata-rata aritmatika) dengan alat ukur Mitutoyo SJ-201. Pengukuran dilakukan secara horizontal pada empat titik berbeda: sisi atas (satu titik), sisi bawah (satu titik), dan satu titik di bagian tengah benda kerja. Nilai kekasaran dari masing-masing titik kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh nilai akhir kekasaran permukaan hasil pemotongan. Nilai rata-rata ini selanjutnya digunakan sebagai data respon pada analisis kekasaran permukaan.

METODE

(A) Perhitungan Metode Taguchi

Setelah seluruh data hasil pengukuran dikumpulkan dan diolah, dilakukan perhitungan menggunakan metode Taguchi untuk menentukan kombinasi parameter proses yang optimal. Analisis dilakukan dengan menghitung nilai *Signal-to-Noise* (S/N) sesuai dengan karakteristik respon yang diamati. Pada penelitian ini, kekasaran permukaan menggunakan karakteristik *Smaller is Better*, karena nilai kekasaran yang lebih kecil menunjukkan kualitas yang lebih baik. Nilai S/N untuk karakteristik *Smaller is Better* dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \dots \dots \dots (1)$$

Di mana:

n : jumlah pengulangan percobaan
 y_i : data hasil eksperimen

(B) Analysis of Varians (ANOVA)

Untuk mendukung analisis ragam (ANOVA) dalam evaluasi parameter proses, dilakukan beberapa tahapan perhitungan statistik.

(1) Menghitung Rata-Rata Respon dari Setiap Kombinasi Eksperimen

$$\bar{y}_i = \frac{\sum x}{n} \dots \dots \dots (2)$$

Di mana:

$\bar{y}_i$: rata-rata respon pada eksperimen ke-i

x : nilai hasil pengukuran

n : jumlah pengulangan

- (2) Menghitung Rata-Rata Total dari Seluruh Respon

$$\bar{Y} = \frac{\sum y}{n} \dots \dots \dots (3)$$

Di mana:

$\bar{Y}$: rata-rata total seluruh eksperimen

$\sum y$: total keseluruhan nilai respon

n : jumlah total data respon

- (3) Menyusun Tabel Respon untuk Setiap Level Faktor

Nilai pengaruh masing-masing level ditentukan dengan menghitung selisih antara nilai tertinggi dan terendah. Selisih tersebut kemudian diperingkat dari yang paling tinggi hingga paling rendah untuk mengetahui kontribusi dominan antar parameter. Hasil perhitungan dimasukkan ke dalam tabel respon seperti yang disajikan pada Tabel 2.

- (4) Menghitung Total *Sum of Squares*

Total *sum of squares* dihitung untuk mengetahui keseluruhan variasi dari data eksperimen terhadap nilai absolutnya:

$$SS_T = \sum_{i=1}^n y_i^2 \dots \dots \dots (4)$$

Di mana:

SS_T : total *sum of squares*

y_i : nilai pengamatan atau data hasil eksperimen ke-iii

n : jumlah total data eksperimen

- (5) Menghitung *Sum of Squares Due to the Mean*

Nilai ini digunakan untuk menghitung kontribusi dari rata-rata keseluruhan data:

$$SS_m = n \cdot \bar{y}^2 \dots \dots \dots (5)$$

Di mana:

SS_m : *sum of squares* karena rata-rata

$\bar{y}$: rata-rata total dari seluruh data eksperimen

n : jumlah data

- (6) Menghitung Jumlah Kuadrat Faktor (*Sum of Squares for Factors*)

Nilai *sum of squares* untuk masing-masing faktor dihitung berdasarkan distribusi nilai rata-rata pada setiap level:

$$SS_{faktor} = \sum_{k=1}^i n_k (\bar{y}_k - \bar{y})^2 \dots \dots \dots (6)$$

Di mana:

n_k : jumlah ulangan pada level ke-k

$\bar{y}_k$: rata-rata respon pada level ke-k

$\bar{y}$: rata-rata total semua data

- (7) Menghitung *Sum of Squares* untuk Error (SSE)

Total *error* dihitung dengan mengurangi nilai kontribusi faktor dan nilai rata-rata dari total *sum of squares*:

$$SS_e = SS_T - SS_m - \sum SS_i \dots \dots \dots (7)$$

- (8) Menentukan Derajat Kebebasan (*Degree of Freedom*)

Derajat kebebasan untuk tiap faktor dihitung dengan rumus:

$$DF_1 = L - 1 \dots\dots\dots(8)$$

Di mana:

L : jumlah level pada faktor ke-i

- (9) Menghitung *Mean Sum of Squares* (MS)

Nilai rata-rata *sum of squares* tiap faktor dihitung dengan:

$$MS_{faktor} = \frac{SS_{faktor}}{DF_i} \dots\dots\dots(9)$$

- (10) Menghitung *Mean Square Error* dan *F-ratio*

Mean Square Error dihitung sebagai:

$$MS_e = \frac{SS_e}{DF_e} \dots\dots\dots(10)$$

Rasio F untuk uji signifikansi tiap faktor:

$$F_i = \frac{MS_{faktor}}{MS_e} \dots\dots\dots(11)$$

- (11) Menghitung *Pure Sum of Squares*

Untuk menghilangkan pengaruh fluktuasi eksperimen, dilakukan koreksi sebagai berikut:

$$SS_i = SS_i - (DF_i \cdot V_e) \dots\dots\dots(12)$$

Di mana:

V_e : *error varians* : MS_e

- (12) Menghitung Persentase Kontribusi Faktor

Kontribusi tiap faktor dihitung berdasarkan proporsi terhadap total variasi:

$$P_i = \frac{SS_i}{SS_T} \times 100\% \dots\dots\dots(13)$$

- (13) Penyusunan Tabel ANOVA

Seluruh hasil perhitungan kemudian dirangkum dalam Tabel Analisis Variansi, yang mencakup nilai SS, DF, MS, *F-ratio*, dan persen kontribusi untuk setiap faktor. Uji F Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan variasi yang disebabkan masing-masing faktor dan variasi *error*. Nilai F-hitung dibandingkan dengan F-tabel pada α dengan derajat kebebasan ((k-1)-(N-k)). Dengan k adalah jumlah variabel dan N adalah total perlakuan. Hipotesis pengujian dalam percobaan adalah: H_0 : tidak ada pengaruh perlakuan, sehingga $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_j = \mu_k$ 193, H_1 : ada perlakuan, sehingga sedikitnya ada satu yang tidak sama. Apabila nilai F- hitung < F-tabel, maka H_0 (hipotesa nol) akan diterima yang artinya tidak ada pengaruh perlakuan. Apabila F-hitung > F-tabel, maka H_0 (hipotesa nol) akan ditolak yang artinya ada pengaruh perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

(A) Hasil Penelitian

Penelitian ini menggunakan matriks *orthogonal* L9(34) sehingga terdapat 9 eksperimen dengan 3 kali replikasi. Nilai rata-rata digunakan sebagai nilai awal pada masing-masing respon. Untuk nilai respon kekasaran dilakukan dengan pengujian Ra menggunakan alat *surface roughness tester* dengan satuan μm . Dari hasil eksperimen didapatkan nilai rata-rata kekasaran permukaan setiap eksperimen seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengukuran dan Pengolahan Data Respon

Eksperimen	Variabel Bebas				Ra 1	Rata-Rata ± Standar Deviasi
	Titik Fokus Sinar Laser	Tekanan Gas	Jarak Nozzel	Daya Laser	Ra 2	
					Ra 3	
1	-4	12	0.6	2250	3,786	4,023 ± 0,211
					4,106	
					4,179	
2	-4	14	1	2500	6,626	6,628 ± 0,073
					6,556	
					6,701	
3	-4	16	1.4	2750	6,525	6,456 ± 0,085
					6,482	
					6,361	
4	-6	12	1	2500	3,822	3,996 ± 0,185
					4,190	
					3,977	
5	-6	14	1.4	2250	3,612	3,681 ± 0,116
					3,616	
					3,815	
6	-6	16	0.6	2750	4,016	4,430 ± 0,383
					4,500	
					4,773	
7	-8	12	1.4	2500	12,757	12,828 ± 0,110
					12,955	
					12,771	
8	-8	14	0.6	2750	2,842	2,852 ± 0,013
					2,847	
					2,867	
9	-8	16	1	2250	3,761	3,896 ± 0,392
					3,589	
					4,337	

Data hasil percobaan dari setiap eksperimen yang tercantum dalam Tabel 4 digunakan dalam penerapan metode Taguchi untuk menghitung nilai rasio *Signal-to-Noise* (S/N) pada respon kekasaran permukaan. Dalam analisis ini digunakan karakteristik *Smaller is Better*, yang berarti bahwa semakin kecil nilai respon, maka hasilnya dianggap semakin baik. Perhitungan rasio S/N kekasaran permukaan setiap eksperimen seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Rasio S/N

Eksperimen	Variabel Bebas				Rasio S/N
	Titik Fokus [mm]	Gas Pressure [bar]	Nozzel Distance [mm]	Laser Power [w]	
1	-4	12	0,6	2250	-12,098

2	-4	14	1	2500	-16,428
3	-4	16	1,4	2750	-16,200
4	-6	12	1	2500	-12,039
5	-6	14	1,4	2250	-11,322
6	-6	16	0,6	2750	-12,949
7	-8	12	1,4	2500	-22,163
8	-8	14	0,6	2750	-9,103
9	-8	16	1	2250	-11,841

(B) Hasil ANOVA

Analisis *Analysis of Variance* (ANOVA) diperlukan untuk mengevaluasi pengaruh setiap level parameter terhadap respon yang diamati serta menentukan kontribusi optimum dari masing-masing faktor. Dalam metode Taguchi, ANOVA digunakan untuk mendukung proses analisis tersebut. Perhitungan ANOVA dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Minitab, menggunakan nilai rasio *Signal-to-Noise* (S/N) sebagai data input. Proses perhitungan ANOVA ini mencakup beberapa komponen penting, seperti *degree of freedom*, *sum of squares*, *mean square*, dan *F-value*. Hasil perhitungan ANOVA bisa dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil ANOVA Kekasaran Permukaan

<i>Source Of Varians</i>	<i>Degree Of Freedom (DF)</i>	<i>Sum Of Square (SS)</i>	<i>Mean Of Square (MS)</i>
Titik Fokus	2	13,294	6,647
Gas Pressure	2	14,95	7,475
Nozzle Distance	2	40,80	20,4
Laser Power	2	52,32	26,16
Error	0	-	-
Total	8	121,364	

Untuk mengidentifikasi faktor yang berpengaruh signifikan terhadap laju pemotongan, dilakukan teknik *Pooling Up*, yaitu penggabungan faktor ke dalam *error*. Strategi ini diterapkan karena nilai F-hitung tidak dapat diperoleh akibat nilai *error* yang bernilai nol. Oleh karena itu, salah satu faktor yang tidak signifikan, yaitu yang memiliki nilai *Sum of Square* (SS) terkecil, dipilih sebagai komponen *error*. Proses ini mengikuti langkah-langkah perhitungan ANOVA, dimulai dari *Sum of Square* hingga perhitungan F-hitung. Penggabungan ini menyebabkan perubahan dalam struktur tabel ANOVA, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 7. Dalam hal ini, faktor yang dianggap tidak signifikan dan memiliki nilai SS terkecil adalah faktor A, yaitu titik fokus.

Tabel 7. Hasil ANOVA Kekasaran Permukaan Setelah di *Pooling Up*

<i>Source Of Varians</i>	<i>Degree Of Freedom (DF)</i>	<i>Sum Of Square (SS)</i>	<i>Mean Of Square (MS)</i>	F-hitung
<i>Pooling Up</i>				
Gas Pressure	2	14,95	7,475	1,1
Nozzle Distance	2	40,80	20,4	3,06
Laser Power	2	52,32	26,16	3,9

<i>Error</i>	2	13,294	6,647
Total	8	121,364	

Berdasarkan data pada Tabel 7, diperoleh nilai F-hitung untuk repon kekasaran permukaan sebagai berikut: faktor B (*Gas Pressure*) sebesar 1,1, faktor C (*Nozzle Distance*) sebesar 3,06, dan faktor D (*Laser Power*) sebesar 3,9. Adapun nilai F-tabel ditentukan pada tingkat kepercayaan 95% dengan $\alpha = 0,05$, menggunakan derajat kebebasan df_1 untuk masing-masing faktor dan df_2 untuk *error*. Pengambilan keputusan didasarkan pada perbandingan antara F_{hitung} dan F_{tabel} , yaitu jika $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak, sedangkan jika $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima.

Berikut merupakan pengujian hipotesis terhadap parameter-parameter dalam eksperimen:

(1) Parameter B (*Gas Pressure*)

H_0 : titik fokus tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

H_1 : titik fokus berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

Nilai uji statistik: F-hitung = 1,1 < F-tabel ($\alpha = 0,05$; $df_1 = 2$; $df_2 = 8$) = 4,46

Kesimpulan: H_0 diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa titik fokus tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan.

(2) Parameter C (*Nozzle Distance*)

H_0 : tekanan gas tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

H_1 : tekanan gas berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

Nilai uji statistik: F-hitung = 3,06 < F-tabel (0,05;2,8) = 4,46

Kesimpulan: H_0 diterima, artinya tekanan gas tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan.

(3) Parameter D (*Laser Power*)

H_0 : daya laser tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

H_1 : daya laser berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

Nilai uji statistik: F-hitung = 3,9 < F-tabel (0,05;2,8) = 4,46

Kesimpulan: H_0 diterima, sehingga daya laser tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan.

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan distribusi F antara F-hitung dan F-tabel pada ketiga parameter terhadap variabel respon laju pemotongan, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari ketiga faktor tersebut terhadap kekasaran permukaan.

Setelah pengujian hipotesis dilakukan, langkah selanjutnya adalah menghitung kontribusi persentase dari masing-masing faktor terhadap respon kekasaran permukaan. Perhitungan dilakukan secara manual berdasarkan hasil nilai *Sum of Square* (SS) yang diperoleh dari analisis ANOVA.

(1) Persentase Kontribusi Faktor B (*Gas Pressure*)

$$\rho = \frac{SS_A}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho = \frac{14,95}{121,364} \times 100\%$$

$$\rho = 12,32\%$$

(2) Persentase Kontribusi Faktor C (*Nozzle Distance*)

$$\rho = \frac{SS_A}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho = \frac{40,80}{121,364} \times 100\%$$

$$\rho = 33,62\%$$

(3) Persentase Kontribusi Faktor D (*Laser Power*)

$$\rho = \frac{SS_A}{SS_T} \times 100\%$$

$$\rho = \frac{52,32}{121,364} \times 100\%$$

$$\rho = 43,11\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan persentase kontribusi, diketahui bahwa persentase kontribusi faktor B adalah 12,32%, faktor C adalah 33,62%, dan faktor D adalah 43,11%. Dimana faktor yang memiliki persentase paling besar adalah faktor D yang berpengaruh terhadap laju pemotongan.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian, pengambilan data, dan analisis menggunakan metode taguchi, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- (1) Berdasarkan hasil analisis, kombinasi parameter yang paling optimal pada proses pemotongan menggunakan mesin *laser cutting* terhadap respon kekasaran permukaan diperoleh pada kondisi Titik Fokus level 3 (-8 mm), *Gas Pressure* level 2 (14 bar), *Nozzel Distance* level 1(0,6 mm) dan *Laser Power* level 3 (2750 W).
- (2) Hasil perhitungan ANOVA terhadap respon kekasaran permukaan menunjukkan bahwa parameter yang memberikan kontribusi terbesar adalah *Laser Power* dengan persentase sebesar 43,11%. Sementara itu, *Nozzle Distance* berkontribusi sebesar 12,31%, dan Daya Laser memiliki kontribusi sebesar 33,62%.

REFERENSI

- Dewinta, F. Y. (2017). *Optimasi Parameter Mesin Laser Cutting Terhadap Kekasaran Dan Laju Pemotongan Pada Alumunium 5083 Menggunakan Desain Eksperimen Taguchi Grey Analysis Method*
- Ibrahim, G. A., Hamni, A., & Libiru, R. (2020). Analisis Koefisien Pengurangan Total (Chip Reduction Coefficient) Pada Pemesinan Bubut Magnesium Az31 Menggunakan Pahat Putar. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 11(2), 399-409
- Rachman, F., Aditya, L., Sidi, P., Setiawan, T. A., Hamzah, F., & Maulana, D. (2024). Optimasi parameter mesin laser tube cutting terhadap laju pemotongan menggunakan Taguchi
- Rakasita, R., Karuniawan, B. W., & Juniani, A. I. (2016). Optimasi Parameter Mesin Laser Cutting Terhadap Kekasaran dan Laju Pemotongan pada SUS 316L menggunakan Taguchi Grey Relational Analysis Method
- Rochim, T. (2001). *Proses Permesinan*. Institut Teknologi Bandung

- Sato, G. Takeshi., Hartanto, N. Sugiarto. (1994). *Menggambar mesin menurut standar ISO*
(Cetakan ke 6). Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Soejanto, I.(2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu