

Penentuan Parameter Proses Laser *Cutting* Terhadap Kekasaran Permukaan Material Acrylic

Determination of Laser Cutting Process Parameters for the Surface Roughness of Acrylic Materials

M. S. Y. Lubis^{1*}, Agasha Wiyoso², Harry Wibowo³, Silvi Ariyanti⁴

^{1,2,3}Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara, Jakarta 11440, Indonesia

⁴Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Jakarta 11650, Indonesia

*Corresponding author: sobronl@ft.untar.ac.id

Diterima: 12-05-2023

Disetujui: 23-07-2023

Dipublikasikan: 03-08-2023

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Proses pemotongan material menggunakan sinar laser adalah salah satu metode modern dalam proses pemesinan untuk memotong geometri kompleks dalam dua dimensi menggunakan sinar laser. Pemotongan sinar laser dapat digunakan dalam pemotongan bahan acrylic. Namun terdapat kendala dalam menghasilkan kondisi permukaan yang baik. Penggunaan parameter proses yang tepat sangat mempengaruhi terhadap kekasaran permukaan yang dihasilkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui penentuan parameter proses laser *cutting* yang sesuai dengan kondisi permukaan benda kerja yang memiliki nilai kekasaran permukaan yang kecil. Tiga variasi parameter proses digunakan yaitu kecepatan pemotongan 6, 8, 10 (mm/s), titik fokus laser 4,6,8 (mm), dan tekanan gas 90, 100, 110 (mm/s). Spesimen yang telah dipotong, selanjutnya di ukur kekasaran permukaan dengan menggunakan alat ukur surface test. Data pengukuran selanjutnya di analisis melalui metode Taguchi. Hasil penelitian diperoleh bahwa nilai kekasaran tertinggi terdapat pada eksperimen kedua dengan nilai kekasaran sebesar 1,015 μm dan nilai kekasaran terendah pada eksperimen ketujuh dengan nilai kekasaran sebesar 0,225. Untuk menghasilkan nilai kekasaran yang kecil parameter proses yang digunakan adalah tekanan gas 100 mm/s, kecepatan potong 8 mm/s dan focal point 8 mm/s dan faktor pengaruh yang paling dominan yaitu parameter tekanan gas dengan nilai 7,494.

Kata kunci : Acrylic, Kekasaran permukaan, Laser *cutting*, Parameter proses

Abstract

Cutting materials using a laser beam is one of the modern methods in machining processes to cut complex geometries in two dimensions using a laser beam. Laser cutting can be used in cutting acrylic materials. However, there are obstacles to producing good surface conditions. The use of appropriate process parameters dramatically affects the resulting surface roughness. Therefore, it is necessary to research to determine the parameters of the laser cutting process that are suitable for the surface conditions of the workpiece, which has a small surface roughness value. Three variations of process parameters were used, namely cutting speeds of 6, 8, and 10 (mm/s), laser focus points of 4,6,8 (mm), and gas pressures of 90, 100, and 110 (mm/s). The specimens that have been cut then measured the surface roughness using a surface test measuring tool. The measurement data is then analyzed using the Taguchi method. The results showed that the highest roughness value was found in the second experiment with a roughness value of 1.015 μm , and the lowest was in the seventh experiment with a roughness value of 0.225. To produce a small roughness value, the process parameters used are gas pressure 100 mm/s, cutting speed eight mm/s and focal point 8 mm/s, and the most dominant influence factor is the gas pressure parameter with a value of 7.494.

Keywords: Acrylic, Laser cutting, Process parameters, Surface roughness

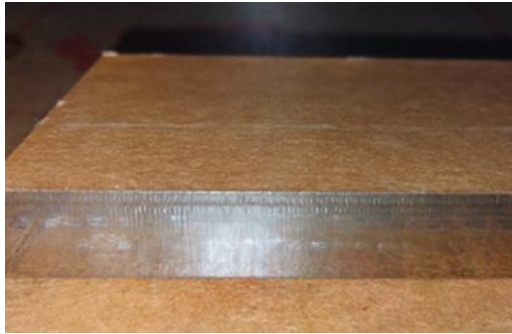
1. Pendahuluan

Peningkatan yang begitu banyak pada produk yang berbasis dari *sheet metal* sehingga menyebabkan produksi semakin meningkat dan menjadi bervariasi, hal ini memerlukan adanya peningkatan terhadap kualitas produk. Dalam hal ini, proses laser *cutting* CNC adalah salah satu proses pemesinan non tradisional untuk pemotongan benda kerja berbentuk *sheet metal* yang keras dan memiliki pola rumit dengan tentunya dengan proses yang relatif singkat. Untuk memotong geometri kompleks di dua dimensi (*profiling*) cara pemrosesan yang paling umum adalah menggunakan sinar laser atau *water-jet cutting*. Proses pemotongan laser adalah proses termal yang memutuskan material dengan peleburan dan/atau lokal menguapkannya dengan menggunakan sinar laser terfokus. Goresan dibuat melalui gerakan relatif antara sinar laser dan permukaan benda kerja.

Proses pemotongan dengan metode laser *cutting* diharapkan mampu meningkatkan kualitas produk. Dalam hal ini, kualitas yang dihasilkan dalam bentuk kondisi permukaan benda kerja yang memiliki nilai kekasaran yang minimal dengan diimbangi kecepatan pemotongan laser *cutting* yang maksimal. Namun penggunaan laser *cutting* tidak hanya digunakan untuk pemotongan material logam, namun juga digunakan dalam proses pembentuk *sheet acrylic*. Bahan ini pada umumnya digunakan dalam industri souvenir, Aplikasi laser pada dunia industri saat ini berupa engraving laser dalam pembuatan ukiran atau grafir, laser sintering untuk 3D printing. Adapun jenis laser yang sering di gunakan di industri yaitu laser *cutting*. Fungsi tersebut dapat di gunakan pada material seperti kayu, kaca, keramik, akrilik, logam dan lainnya. Proses pemotongan laser adalah yang paling mapan dan memiliki sejumlah besar aplikasi di bidang otomotif, kedirgantaraan, galangan kapal dan industri pengolahan bahan. Pemotongan laser proses dapat digunakan untuk memutuskan berbagai bahan, seperti logam, plastik, keramik, dan komposit. Namun, pencocokan sumber laser yang paling cocok dengan bahan yang akan diproses menjamin hasil terbaik. Setiap jenis laser menciptakan sinar laser pada panjang gelombang yang diberikan, CO₂ sebesar 10,6 mm dan ND YAG sebesar 1,06 mm. Untuk pemotongan laser bahan keramik, menyelidiki penggunaan sumber laser CO₂, ND YAG dan excimer dan sampai pada kesimpulan bahwa setiap sumber laser memiliki sumbernya sendiri keuntungan dan kerugian untuk aplikasi industri tersebut (Toenshoff et al. 1989).

Kualitas benda kerja adalah ditentukan oleh lebar garitan, kekasaran permukaan *cutting edge* dan ukuran zona yang terkena panas. Daya laser, kecepatan potong, frekuensi berdenyut dan membantu tekanan gas dipilih sebagai variabel proses. Kondisi permukaan yang baik pada pembuatan souvenir berbahan acrylic adalah diperolehnya nilai kekasaran permukaan yang kecil. Untuk mencapai hal tersebut maka perlu dilakukan pengaturan parameter proses pada laser *cutting*. Parameter proses tersebut antara lain terdiri dari titik fokus sinar laser, kecepatan gas, dan kecepatan pemotongan. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui kombinasi parameter proses laser *cutting* untuk menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang kecil. Analisis data nilai kekasaran permukaan dilakukan dengan metode Taguchi (Lubis et al. 2023). Bentuk penampang permukaan hasil pemotongan dengan menggunakan laser *cutting* disampaikan pada Gambar 1. Proses pemotongan yang begitu meningkat menyebabkan kondisi bagian penampang hasil pemotongan menghasilkan nilai kekasaran yang besar, dan dimensinya tidak simetris, sedangkan untuk mencapai hasil pemotongan dengan nilai kekasaran lebih kecil, akan mempengaruhi terhadap laju pemotongan dimana proses *cutting* menjadi lebih lambat sehingga waktu proses menjadi lebih lama. Agar diperoleh nilai kekasaran minimum dapat dilakukan dengan cara mengoptimalkan parameter proses laser *cutting*, seperti titik fokus sinar laser, kecepatan gas, dan kecepatan pemotongan. Investigasi hasil eksperimental dilakukan berdasarkan Metode Taguchi digunakan untuk mendapatkan secara kuantitatif efek dari setiap

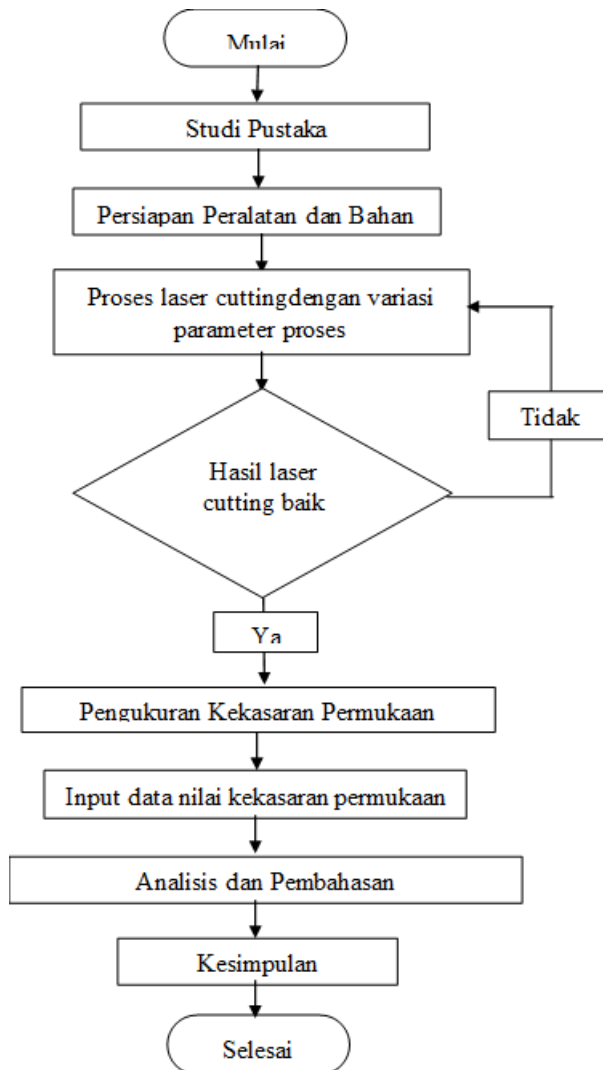
variabel proses. Selanjutnya, berdasarkan hasil yang diperoleh, model regresi linier dengan memperhitungkan yang utama terlebih dahulu urutan dan efek interaksi dikembangkan dan teoretis prediksi cocok dengan data eksperimen.



Gambar 1. Penampang Acrylic

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini untuk mencapai objektif kajian dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan proses laser cutting. Adapun proses penelitian ini disampaikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.1. Peralatan dan bahan

Berikut disampaikan peralatan (Gambar 3) dan bahan (Gambar 4) yang digunakan pada eksperinen ini.



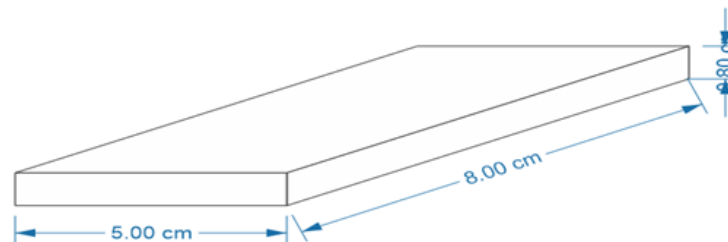
(a)



(b)

Gambar 3. (a) Mesin laser cutting Jenis Bai Sheng, Model AS-1310C, (b) Roughness Surface Test Mitutoyo-SJ-210

Bahan yang digunakan acrylic type clear 000. Material yang digunakan berdimensi 50 mm x 80 mm x 8 mm.



Gambar 4. Dimensi Acrylic

2.2. Parameter proses laser cutting

Pada percobaan ini, parameter proses laser cutting divariasikan sebagaimana disampaikan pada tabel berikut.

Tabel 1. Variabel Parameter Proses Laser Cutting

No	Kecepatan Pemotongan (mm/s)	Titik Fokus Laser (mm)								
		4			6			8		
		Kecepatan Gas (mm/s)								
		90	100	110	90	100	110	90	100	110
1	8	Ra1	Ra2	Ra3	Ra4	Ra5	Ra6	Ra7	Ra8	Ra9
2	10	Ra10	Ra11	Ra12	Ra13	Ra14	Ra15	Ra16	Ra17	Ra18
3	6	Ra19	Ra20	Ra21	Ra22	Ra23	Ra24	Ra25	Ra26	Ra27

2.3. Penentuan matrik orthogonal

Matrik orthogonal harus mempunyai derajat kebebasan sama atau lebih besar dibanding total derajat kebebasan variable dan level yang ditentukan. Derajat kebebasan variable proses dan level tersebut dihitung sebagai menggunakan rumus atau persamaan $V_{ft} =$ (banyaknya level-

1). Dengan menggunakan metode matrik orthogonal maka tidak semua parameter dilakukan pengujian, hanya yang tertera pada matrik Tabel 2 proses laser *cutting* dilakukan. Berikut disampaikan matrik variasi parameter percobaan.

Tabel 2. Variasi Parameter Percobaan

Eksperimen	Kecepatan Laser (mm/s)	Titik Fokus (mm)	Kecepatan Gas (mm/s)	Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan(μm)
1	1	1	1	Ra1
2	1	2	2	Ra2
3	1	3	3	Ra3
4	2	1	2	Ra10
5	2	2	3	Ra12
6	2	3	1	Ra16
7	3	1	3	Ra21
8	3	2	1	Ra22
9	3	3	2	Ra26

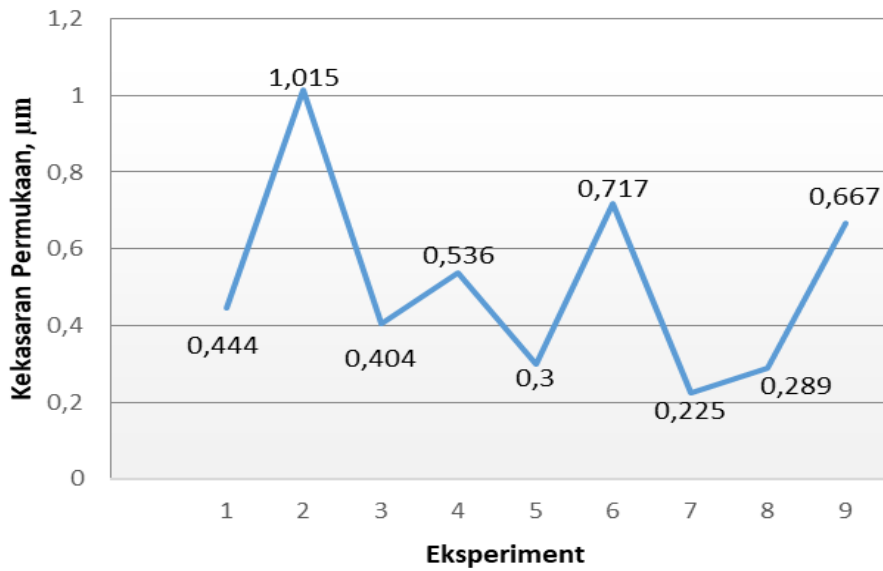
3. Hasil Dan Pembahasan

Hasil eskperimental proses laser cutting dan pengukuran kekasaran permukaan pada bagian penampang acrylic, disampaikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Kekasaran Permukaan

Eksperimen	Kecepatan Laser (mm/s)	Titik Fokus (mm)	Tekanan Gas (mm/s)	Nilai Kekasaran Permukaan (μm)
1	1	1	1	0,444
2	1	2	2	1,015
3	1	3	3	0,404
4	2	1	2	0,536
5	2	2	3	0,300
6	2	3	1	0,717
7	3	1	3	0,225
8	3	2	1	0,289
9	3	3	2	0,667

Gambar 4 menunjukkan grafik hasil pengukuran kekasaran terhadap pada masing-masing kombinasi parameter proses laser cutting sebagaimana yang disampaikan pada Tabel 3. Nilai kekasaran permukaan yang terbesar diperoleh pada eksperimen dua sebesar 1,015 μm., dan nilai kekasaran terkecil pada eksperimen tujuh sebesar 0,225 μm. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kecepatan laser cutting sangat mempengaruhi terhadap nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan. Hal tersebut dibuktikan berdasarkan grafik pada eksperimen satu sampai dengan enam dimana nilai kekasaran yang relative lebih besar jika dibandingkan dengan eksperimen tujuh hingga sembilan. Pada proses laser cutting, apabila penggunaan kecepatan laser semakin tinggi, maka waktu proses pemotongan menjadi relatif lebih singkat, namun dalam hal penggunaan energi panas sinar laser terhadap material menjadi tidak maksimal. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan ketika proses laser cutting diketahui bahwa penggunaan kecepatan laser yang bervariasi diperoleh bahwa nilai kekasaran permukaan menjadi meningkat, bahkan dalam satu kali proses, material tidak dapat terpotong.

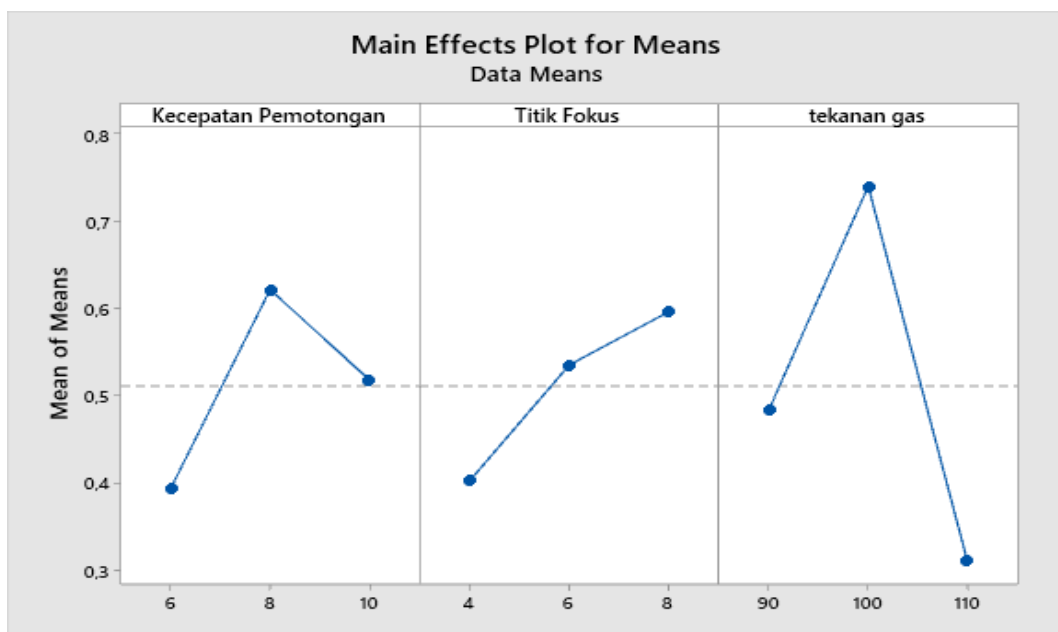


Gambar 4. Nilai Kekasaran pada masing-masing eksperimen

Dari Tabel 3 diperoleh nilai respon *table for mean* dan efek yang mempengaruhi kekasaran permukaan disampaikan pada Gambar 6.

Tabel 4. *Response Table for Mean*

Level	Kecepatan Pemotongan	Titik Fokus	Tekanan gas
1	0,3937	0,4017	0,4833
2	0,6210	0,5347	0,7393
3	0,5177	0,5960	0,3097
Delta	0,2273	0,1943	0,4297
Rank	2	3	1



Gambar 5. Grafik Main *Effects Plot for Mean*

Dari Gambar 5 diketahui bahwa pada kecepatan pemotongan nilai yang tertinggi terdapat pada level faktor nomor 2, dan pada titik fokus nilai yang tertinggi terdapat pada level faktor nomor 3, dan pada tekanan gas nilai tertinggi terdapat pada level faktor nomor 2. Kemudian analisis di lakukan dengan metode Taguchi guna menentukan optimasi parameter laser *cutting*:

1. Nilai rata-rata semua eksperimen

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{N} = \frac{0,444+0,015+0,404+0,536+0,3+0,717+0,225+0,289+0,667}{9}$$

$$\bar{y} = \frac{4,597}{9} = 0,510$$

2. total *sum of square*

Nilai total *sum of square* kekasaran permukaan *acrylic* :

$$SS_{total} = \sum y^2 = 0,444^2 + 1,015^2 + 0,404^2 + 0,536^2 + 0,3^2 + 0,717^2 + 0,225^2$$

$$+ 0,289^2 + 0,667^2$$

$$SS_{total} = 2,86$$

3. *sum of square due to mean*

$$\text{mean } (S_m) = n\bar{y}^2$$

$$\text{mean } (S_m) = 9 \times 0,510^2$$

$$\text{mean } (S_m) = 2,34$$

4. *sum of square due to factors*

$$SS_A = (n_{A1} \times (A1^2)) + (n_{A2} \times (A2^2)) + (n_{A3} \times (A3^2)) - S_m$$

$$= (3 \times (0,3937^2)) + (3 \times (0,621^2)) + (3 \times (0,5177^2)) - 2,34$$

$$= 0,085$$

$$SS_B = (n_{B1} \times (B1^2)) + (n_{B2} \times (B2^2)) + (n_{B3} \times (B3^2)) - S_m$$

$$= (3 \times (0,4017^2)) + (3 \times (0,5347^2)) + (3 \times (0,5960^2)) - 2,34$$

$$= 0,067$$

$$SS_C = (n_{C1} \times (C1^2)) + (n_{C2} \times (C2^2)) + (n_{C3} \times (C3^2)) - S_m$$

$$= (3 \times (0,4833^2)) + (3 \times (0,7393^2)) + (3 \times (0,3097^2)) - 2,34$$

$$= 0,028$$

5. *sum square due to error*

$$SS_e = SS_{total} - S_m - SS_A - SS_B - SS_C$$

$$= 2,86 - 2,34 - 0,085 - 0,067 - 0,028$$

$$= 0,34$$

6. *mean sum of due to error*

$$M_{Se} = \frac{SS_e}{ve}$$

$$M_{Se} = \frac{0,34}{9} = 0,038$$

7. Derajat kebebasan dari sumber variasi

$$V_{A/B/C} = \text{Jumlah level} - 1$$

$$V_{A/B/C} = 3 - 1$$

$$V_{A/B/C} = 2$$

8. *sum of square due to factor*

$$M_{SA} = SS_A / V_A$$

$$M_{SA} = 0,085 / 2$$

$$M_{SA} = 0,0425$$

$$M_{SB} = SS_B / V_B$$

$$M_{SB} = 0,067 / 2$$

$$M_{SB} = 0,0335$$

$$M_{SC} = SS_C / V_C$$

$$M_{SC} = 0,028 / 2$$

$$M_{SC} = 0,014$$

9. *pure sum of square*

$$\begin{aligned} SS_{ARa} &= SA - V_A \times MS_e \\ &= 0,0425 - 2 \times 0,038 \\ &= - 0,0329 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS_{BRa} &= SB - V_A \times MS_e \\ &= 0,0335 - 2 \times 0,038 \\ &= - 0,424 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS_{CRa} &= SC - V_A \times MS_e \\ &= 0,014 - 2 \times 0,038 \\ &= - 0,646 \end{aligned}$$

10. *percent contribution*

$$pA = \frac{SS_A}{ST} \times 100 = \frac{0,085}{0,18} \times 100 = 47,22 \%$$

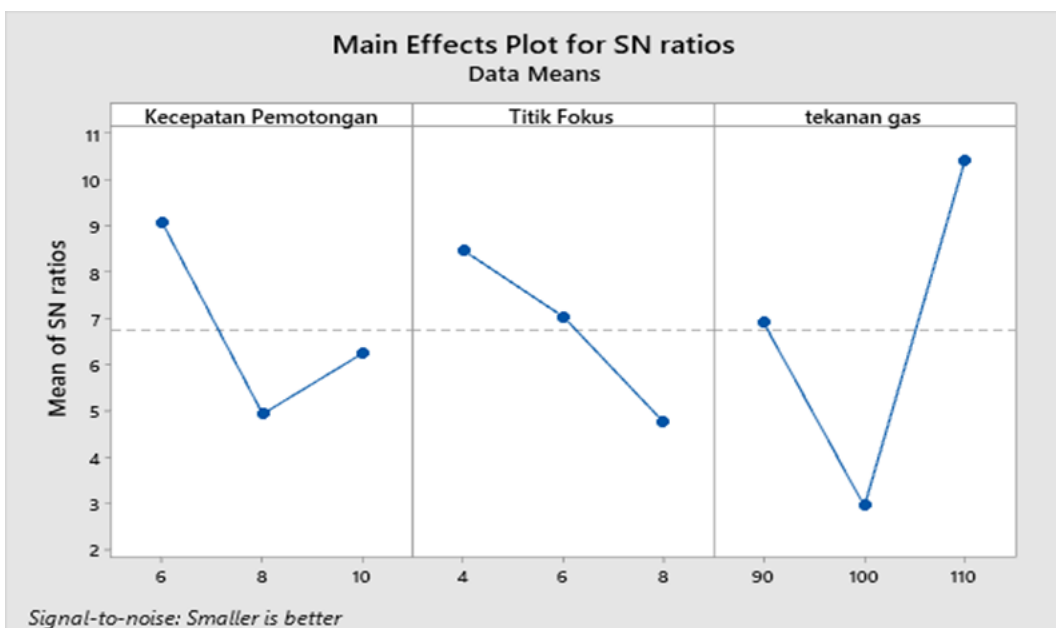
$$pB = \frac{SS_B}{ST} \times 100 = \frac{0,067}{0,18} \times 100 = 37,22 \%$$

$$pC = \frac{SS_C}{ST} \times 100 = \frac{0,028}{0,18} \times 100 = 15,56 \%$$

Nilai signal to noise ratio dapat diketahui pada Tabel 5.

Tabel 5. Tabel Nilai Signal to Noise Ratio

Level	Kecepatan Pemoangan	Titik Fokus	Tekanan gas
1	9,085	8,475	6,908
2	4,932	7,037	2,935
3	6,255	4,760	10,429
Delta	4,153	3,715	7,494
Rank	2	3	1



Gambar 6. Grafik Signal to Noise

Berdasarkan Gambar 6 maka diperoleh level optimal signal to noise ratio (SNR), kemudian disampaikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Setting Level Optimum.

Faktor	Setting Level	Parameter Optimum
Kecepatan pemotongan (A)	A2	8 mm/s
Titik Focus (B)	B3	8 mm
Tekanan Gas (C)	C2	100 mm/s

Berdasarkan Tabel 6. diketahui bahwa respon SNR dapat dilihat dari hasil pengolahan data eksperimen. Apabila hasil selisih setiap faktor mendapatkan nilai terbesar, maka level parameter tersebutlah yang paling optimal. Berdasarkan hasil analisis metode Taguchi, diperoleh bahwa parameter tekanan gas memiliki pengaruh yang paling dominan dengan nilai sebesar 7,494, kemudian berikutnya kecepatan pemotongan sebesar 4,153 dan yang terakhir adalah titik fokus sebesar 3715. Dan berdasarkan hasil pengolahan data, diperoleh parameter proses yang paling optimal adalah titik grafik yang paling kecil, untuk kondisi kekasaran permukaan yang dihasilkan yang baik adalah nilai kekasaran permukaan yang paling kecil. Parameter laser *cutting* yang optimal diperoleh untuk kecepatan laser sebesar 8 mm/s, titik focus 8 mm dan tekanan gas sebesar 100 mm/s.

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan eksperimen dan analisis terhadap data yang diperoleh maka didapat bahwa parameter tekanan gas memberi pengaruh yang paling dominan, dimana jika semakin besar tekanan gas yang digunakan, maka menyebabkan pemakanan sinar laser menjadi tidak maksimal hal ini disebabkan terkena semburan udara yang terlalu besar. Faktor kecepatan juga memberi pengaruh terhadap hasil kekasaran permukaan, apabila kecepatan laser semakin tinggi, maka waktu proses pemotongan menjadi relatif lebih singkat dan menyebabkan proses penggunaan energi panas sinar laser terhadap material tidak maksimal. Berdasarkan metode Parameter laser *cutting* yang optimal diperoleh untuk kecepatan laser sebesar 8 mm/s, titik focus 8 mm dan tekanan gas sebesar 100 mm/s.

Daftar Pustaka

- Arifin, Z. 2018. "Pengaruh variasi cutting speed terhadap kekasaran permukaan SUS 304 pada proses laser cutting menggunakan gas N₂." Universitas Brawijaya, Malang.
- Chryssolouris, G. 2013. *Laser machining: theory and practice*. Springer Science & Business Media.
- Hadimi, H. 2008. "Pengaruh Perubahan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Pembubutan." *Semesta Teknika* 11(1): 18-28.
- Lubis, M. S. Y., Siahaan, E., Darmawan, S., Adiarto, A., dan Ronald, R. 2019. "Variation Of Cutting Parameters in The Process of Turning AISI 4340 Steel On Surface Roughness." *Sinergi* 23(2): 139-144.
- Lubis, Muhammad Sobron Yamin, Steven D, Alfred Briantio, and Rosehan Rosehan. 2023. "Penentuan Parameter Pemotongan Optimal Proses Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Baja SKD11 Dengan Metode Taguchi." *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 1 (3): 44–50. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v1i3.33>.
- Munadi, S. 1988. *Dasar-Dasar Metrologi Industri*. Jakarta: Proyek Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan.

- Noor, M. M., Kadirgama, K., & Rahman, M. M. 2010. "Analysis Of Surface Roughness For Laser Cutting On Acrylic Sheets Using Response Surface Method." *In National Conference in Mechanical Engineering Research and Postgraduate Students*.
- Nugroho, A., Utama, A. S., dan Budiyanoro, C. 2018. "Optimasi keakuratan dimensi dan kekasaran permukaan potong material akrilik dengan proses laser menggunakan metode Taguchi dan PCR-TOPSIS." *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)* 2(2): 75-82.
- Purwanti, E. P., & Pilarian, F. 2013. "Optimasi Parameter Proses Pemotongan Stainless Steel SUS 304 Untuk Kekasaran Permukaan Dengan Metode Response Surface." *In Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika FMIPA UNY*. Vol. 978.
- Rakasita, R., Karuniawan, B. W., dan Juniani, A. I. 2016. "Optimasi Parameter Mesin Laser Cutting Terhadap Kekasaran Dan Laju Pemotongan Pada Sus 316l Menggunakan Taguchi Grey Relational Analysis Method." *Jurnal Teknik Industri* 11(2): 97-106.
- Shivapragash, B., Chandrasekaran, K., Parthasarathy, C., & Samuel, M. 2013. "Multiple Response Optimizations In Drilling Using Taguchi And Grey Relational Analysis." *International Journal of Modern Engineering Research* 3(2): 765-768.
- Stournaras, A., Stavropoulos, P., Salonitis, K., dan Chryssolouris, G. 2009. "An investigation of quality in CO₂ laser cutting of aluminum." *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 2(1): 61-69.
- Tönshoff, H. K., dan Emmelmann, C. 1989. "Laser cutting of advanced ceramics." *CIRP Annals* 38(1): 219-222.