

Analisis Desain Faktorial Pengaruh Variabel Proses terhadap Kualitas Permukaan Potong pada Proses *Laser Cutting*

Totok Suwanda^{1*}, Dinda Aliunnisa²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Bantul,

Email: ^{1*}suwanda@umy.ac.id

Abstract

Laser cutting is a precise and efficient manufacturing technology, but process parameters significantly influence the quality of the cut surface. A smooth cut surface is one of the essential criteria in laser metal cutting, especially in the manufacturing industry. The roughness of the cut surface is influenced by several key parameters, including the laser beam focal point, and optimal cutting gas pressure can help clean the surface. This study aims to analyze the effects of process variables on the roughness of the cut surface in laser cutting. Experiments were conducted with a combination of three variables, namely cutting speed, gas pressure, and focal point, on 3 mm mild steel material using the factorial design method. The results showed that the optimal parameter combination for the lowest surface roughness was a cutting speed of 2.3 m/min, a gas pressure of 1.8 bar, and a focal point of 4.3 mm. The cutting speed and gas pressure variables have a significant effect on surface quality, and the interaction between cutting speed and focal point also significantly affects surface roughness.

Keywords: *Laser Cutting, Factorial Design, Surface Roughness, Mild Steel, Process Variables.*

Abstrak

Laser cutting merupakan teknologi manufaktur yang presisi dan efisien, namun kualitas permukaan potong sangat dipengaruhi oleh parameter proses. Permukaan hasil pemotongan yang halus menjadi salah satu kriteria penting dalam proses pemotongan logam menggunakan mesin laser, terutama dalam industri manufaktur. Kekasaran hasil pemotongan dipengaruhi oleh beberapa parameter utama termasuk titik fokus sinar laser, tekanan gas pemotongan yang optimal dapat membantu membersihkan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variabel proses terhadap kekasaran permukaan potong pada proses laser cutting. Eksperimen dilakukan dengan kombinasi tiga variabel yaitu kecepatan potong, tekanan gas dan titik fokus pada material mild steel 3 mm menggunakan metode desain faktorial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi parameter yang optimal untuk menghasilkan kekasaran permukaan paling rendah adalah kecepatan pemotongan 2,3 m/min, tekanan gas 1,8 bar dan titik fokus 4,3 mm. Variabel kecepatan potong dan tekanan gas memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas permukaan, sedangkan interaksi antara kecepatan pemotongan dan titik fokus juga memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap kekasaran permukaan.

Kata Kunci: *Laser Cutting, Desain Faktorial, Kekasaran Permukaan, Mild Steel, Variabel Proses.*

1. PENDAHULUAN

Laser cutting adalah teknologi pemotongan menggunakan sinar laser berenergi tinggi yang difokuskan pada area tertentu untuk menghasilkan potongan yang akurat dan efisien. Teknologi *laser cutting* menjadi salah satu metode terbaik untuk proses pemotongan karena kemampuannya memotong berbagai jenis logam dengan tingkat presisi yang tinggi (Masri et al., 2023; Ürgün et al., 2024). Pada pemotongan dengan laser cutting harus memperhatikan kualitas permukaan potong. Pemilihan variabel proses yang tidak tepat dapat mengakibatkan permukaan hasil potong kasar. Kekasaran hasil

pemotongan dipengaruhi oleh beberapa parameter utama termasuk titik fokus sinar laser, tekanan gas pemotongan yang optimal dapat membantu membersihkan slag (Alsaadawy et al., 2024; Hasan., 2022). Kualitas permukaan merupakan hal yang sangat penting bagi suatu material. Kekasaran permukaan atau cacat seperti retakan atau pori-pori sangat berpengaruh pada estetika, fungsionalitas dan daya tahan pada suatu produk.

Namun, pada praktiknya pemotongan menggunakan *laser cutting* seringkali kualitas hasil akhir tidak sesuai dengan hasil yang diharapkan. Salah satu permasalahan umum adalah kekasaran permukaan tepi potongan. Kualitas kekasaran permukaan ini sangat dipengaruhi oleh pengaturan variabel proses (Arif et al., 2025; Nugraha et al., 2023; Rajib et al., 2025; Rakasita et al., 2016; Satyawardhana & Lubis, n.d.). Kombinasi variabel proses menjadi sangat penting, terutama dalam aplikasi industri yang membutuhkan tingkat ketelitian tinggi, seperti pembuatan komponen otomotif, alat elektronik dan produk medis. Kualitas permukaan potong yang buruk dapat menyebabkan produk tidak memenuhi spesifikasi, meningkatkan biaya produksi akibat perbaikan atau pemotongan ulang, dan bahkan memengaruhi kinerja produk secara keseluruhan (Arrohman et al., 2025; Karyadi et al., 2023; Machmud, 2023; Nurwahyudin et al., 2025). Oleh karena itu, kontrol terhadap variabel proses dalam *laser cutting* merupakan hal yang sangat penting.

Pemotongan akrilik dengan pengujian ketebalan 2 mm dan 4 mm yang menggunakan daya 100%. Pada pengujian menggunakan ketebalan 2 mm memiliki hasil dengan akurasi sebesar 99,4% dengan kecepatan pemotongan 120-220 mm/menit. Sedangkan pada ketebalan 4 mm menghasilkan akurasi sebesar 99,50% dengan kecepatan potong 60–110 mm/menit (Sunarto et al., 2023). Pada pengaturan parameter -7,5 milimeter, titik fokus sinar laser berkontribusi sebesar 61,63%, jarak nozzle 16,19% pada pengaturan parameter 2,4 milimeter, kecepatan pemotong 8,94% pada pengaturan parameter 0,9 milimeter, dan tekanan gas pemotong tidak berkontribusi secara signifikan pada pengaturan parameter dalam mengurangi variasi kekasaran dan laju pemotongan (Dewinta, 2017). Penelitian (Hidayat et al., 2021) menunjukkan nilai kekasaran permukaan dengan tekanan udara paling rendah pada 16 bar dengan kecepatan pemotongan 3300/min mendapatkan nilai kekasaran rata-rata sebesar 1,499 μm . Sedangkan nilai kekasaran permukaan tertinggi pada tekanan udara 12 bar dengan kecepatan potong 3400mm/min dan mendapatkan hasil rata-rata 2,986 μm . Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin rendah kecepatan pemotongan dan semakin tinggi tekanan udara, maka nilai kekasaran permukaan akan semakin rendah begitupun sebaliknya. Berdasarkan hasil analisis ANOVA, tekanan gas *cutting* memiliki dampak paling signifikan dalam mengurangi variasi kekasaran dan meningkatkan laju pemotongan, diikuti oleh titik fokus sinar *laser*, sedangkan *cutting speed* tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Pada eksperimen konfirmasi menunjukkan bahwa kombinasi variabel optimal adalah titik fokus -17 mm, tekanan gas *cutting* 17 bar dan *cutting speed* 0,6 m/menit, yang menghasilkan kekasaran minimum dan laju pemotongan maksimum (Rakasita et al., 2016).

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Pemotongan plat *mild steel* 3 mm menggunakan *laser cutting fiber* LF 3015E dengan daya laser 1000xWatt dan gas yang digunakan adalah oksigen. Dua variasi kecepatan pemotongan yaitu: 1,9 m/min dan 2,3 m/min, dua variasi tekanan gas yaitu: 1,8 bar dan 2 bar, dua variasi titik fokus *laser* yaitu: 4,3 mm dan 4,8 mm. adapapun peralatan dan bahan yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1 dan Gambar 1 untuk desain pemotongan.

Tabel 1. Alat dan bahan

Alat	Bahan
Mesin <i>laser cutting fiber</i>	<i>Mild steel</i> ketebalan 3 mm
<i>Surface roughness tester</i>	
Mikroskop optik <i>olympus SZ61-TR</i>	

2.2 Rancangan Eksperimen

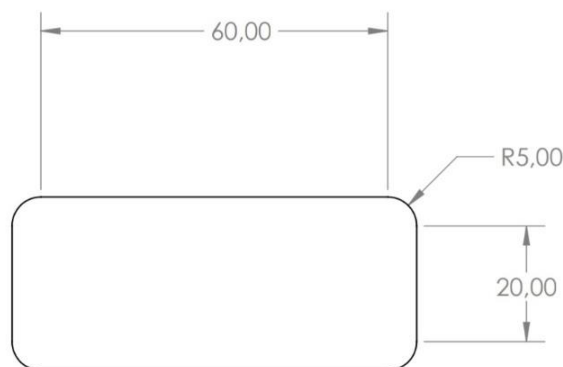
Untuk menganalisis pengaruh variabel proses terhadap kualitas permukaan potong pada proses *laser cutting*, penelitian ini menggunakan metode *full factorial design* dengan 3 faktor 2 level dapat dilihat pada tabel 2. Penelitian ini menggunakan mesin *fiber laser cutting* dengan material *mild steel* ketebalan 3 mm. Berikut merupakan variabel-variabel dalam rancangan penelitian menggunakan metode *full factorial design* seperti pada tabel 3.

Tabel 2. Variabel Proses

Variabel	Notasi	Level	
		-1	1
Kecepatan Pemotongan (m/min)	Cs	1,9	2,3
Tekanan Gas (bar)	P	1,8	2
Titik Fokus <i>Laser</i> (mm)	F	4,3	4,8

Tabel 3. Rancangan Desain Faktorial

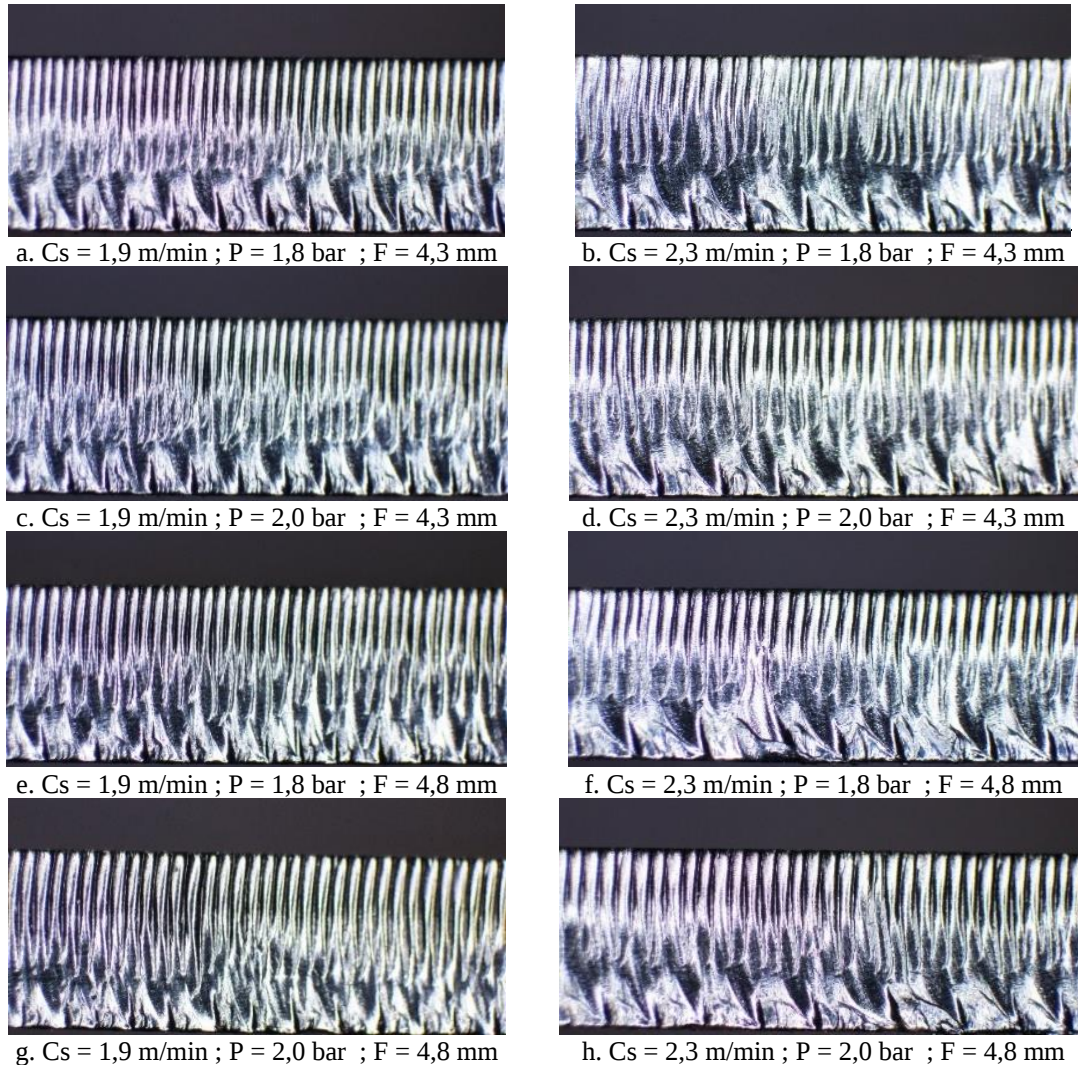
StdOrder	RunOrder	Cs	P	F
3	1	1,9	2,0	4,3
6	2	2,3	1,8	4,8
5	3	1,9	1,8	4,8
4	4	2,3	2,0	4,3
14	5	2,3	1,8	4,8
9	6	1,9	1,8	4,3
16	7	2,3	2,0	4,8
8	8	2,3	2,0	4,8
13	9	1,9	1,8	4,8
10	10	2,3	1,8	4,3
11	11	1,9	2,0	4,3
2	12	2,3	1,8	4,3
1	13	1,9	1,8	4,3
7	14	1,9	2,0	4,8
15	15	1,9	2,0	4,8
12	16	2,3	2,0	4,3



Gambar 1. Desain pemotongan (ukuran dalam satuan mm)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan desain faktorial tiga variabel yaitu kecepatan potong (Cs), tekanan gas (P) dan titik fokus (F) masing-masing dengan dua level. Variabel proses yang dihasilkan ialah kekasaran permukaan hasil pemotongan pada material *mild steel* dengan ketebalan 3 mm. Adapun Gambar 2. Merupakan hasil gambar macro permukaan dari masing-masing variabel proses.



Gambar 2. Hasil Foto Makro Permukaan Laser Cutting

Tabel 4. menunjukkan hasil pengukuran kekasaran permukaan rata-rata dari delapan kombinasi. Dari tabel tersebut, nilai kekasaran tertinggi yaitu 4,752 μm dengan kombinasi variabel kecepatan potong 1,9 m/min, tekanan gas 1,8 bar dan titik fokus 4,3 mm. Sementara nilai kekasaran terendah yaitu 3,3795 μm dengan kombinasi variabel kecepatan potong 2,3 m/min, tekanan gas 2,8 bar dan titik fokus 4,3 mm.

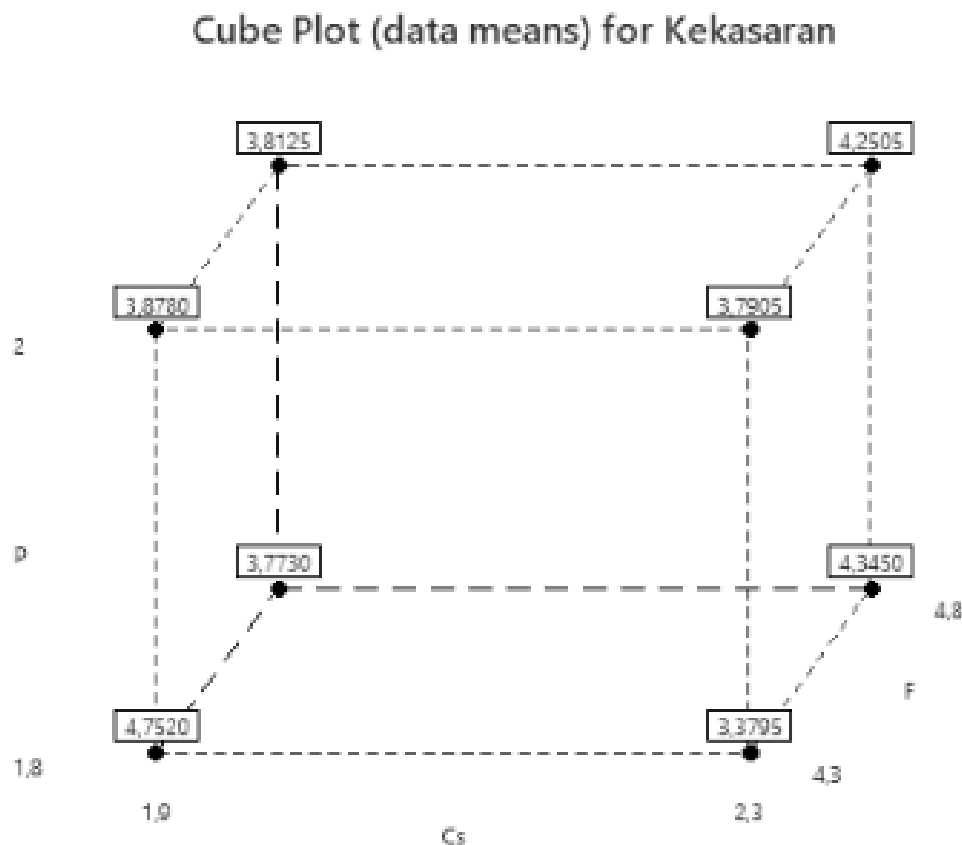
Tabel 4. Rata-rata hasil kekasaran permukaan

No.	Variabel			Kekasaran		
	Cs (m/min)	P (bar)	F (mm)	Spesimen 1 (μm)	Spesimen 2 (μm)	Rata-Rata (μm)
1	1,9	1,8	4,3	4,879	4,625	4,752
2	2,3	1,8	4,3	4,041	2,718	3,3795
3	1,9	2	4,3	2,952	4,804	3,878

No.	Variabel			Kekasaran		
	Cs (m/min)	P (bar)	F (mm)	Spesimen 1 (μm)	Spesimen 2 (μm)	Rata-Rata (μm)
4	2,3	2	4,3	3,812	3,769	3,7905
5	1,9	1,8	4,8	3,776	3,770	3,773
6	2,3	1,8	4,8	4,395	4,295	4,345
7	1,9	2	4,8	3,936	3,689	3,8125
8	2,3	2	4,8	4,326	4,175	4,2505

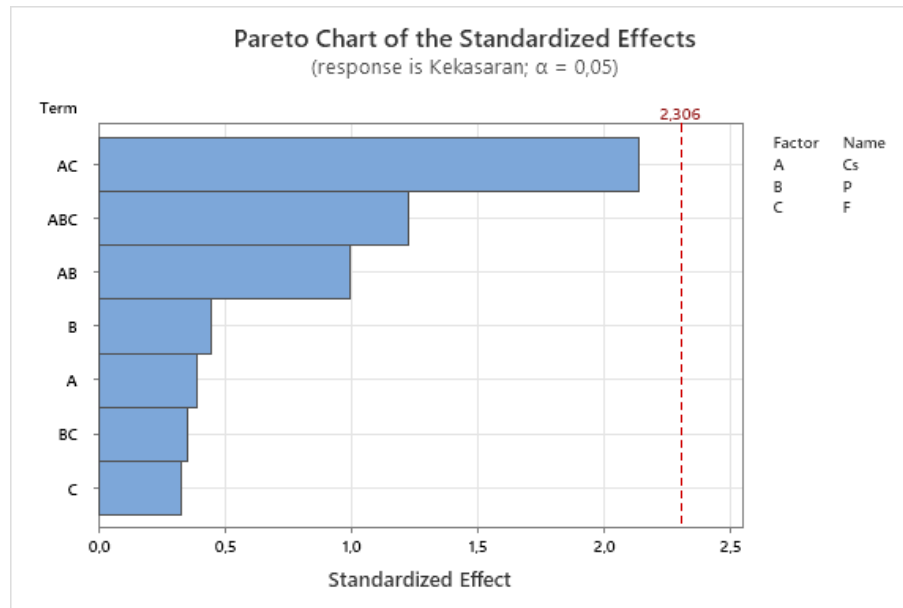
3.1. Grafik *Cube Plot* dan *Pareto Chart*

Gambar 3. menyajikan bahwa kecepatan potong 2,3 m/min cenderung memiliki kekasaran permukaan lebih rendah dibanding kecepatan potong 1,9 m/min. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan potong maka permukaan akan semakin halus. Pada variabel tekanan gas 1,8 bar dan 2 bar tidak terlalu signifikan. Namun tekanan gas 1,8 bar secara umum memiliki nilai kekasaran permukaan lebih rendah. Titik fokus 4,3 mm memiliki kekasaran permukaan lebih rendah dibanding 4,8 mm. Hal ini menandakan bahwa fokus sinar laser yang lebih tajam pada permukaan material akan menghasilkan energi pemotongan yang lebih terpusat, sehingga memperhalus hasil potongan.



Gambar 3. *Cube plot experiment*

Berdasarkan gambar 4. interaksi antar kecepatan pemotongan dan titik fokus (AC) merupakan pengaruh yang paling signifikan terhadap kekasaran permukaan. Setelah itu ada interaksi tiga variabel kecepatan potong, tekanan gas dan titik fokus (ABC), kemudian interaksi antara kecepatan pemotongan dan tekanan gas (AB). Sementara secara statistik, faktor individu seperti kecepatan pemotongan (A), tekanan gas (B), dan titik fokus (C) menunjukkan pengaruh yang kurang signifikan.



Gambar 4. Pareto Chart

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis *cube plot* dan *pareto chart*, interaksi antar variabel memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan efek variabel secara individu. Interaksi variabel (Cs*F) memiliki pengaruh yang cukup signifikan, sedangkan interaksi variabel (Cs*P) serta interaksi variabel (P*F) memiliki pengaruh dengan tingkat lebih rendah. Penelitian ini menghasilkan kekasaran permukaan paling rendah yaitu 3,3795 μm dengan kombinasi kecepatan potong (Cs) 2,3 m/min, tekanan gas 1,8 bar, dan titik fokus (F) 4,3 mm.

REFERENCES

- Arif, M., Huda, N., Risnawati, F. F., & Hidayatullah, R. A. (2025). Optimasi Parameter Laser Cutting CO₂ untuk Meminimalkan Kekasaran Permukaan dan Meningkatkan Akurasi Dimensi Material PMMA Menggunakan Response Surface Methodology. *Journal of Mechanical and Electrical Technology*, 04(02), 112–122.
- Arrohman, S., Sulisty, A., & Haristo, C. (2025). Efektifitas Kecepatan Pemotongan Material Ss 316 L Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses Laser. *Dinamika Rekayasa*, 21.
- Alsaadawy, M., Dewidar, M., Said, A., Maher, I., Shehabeldeen, T. A. (2024) A comprehensive review of studying the influence of laser cutting parameters on surface and kerf quality of metals. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 130, 1039-1074.
- Dewinta, F. Y. (2017). *Optimasi Parameter Mesin Laser Cutting Terhadap Kekasaran Dan Laju Pemotongan Pada Alumunium 5083 Menggunakan Desain Eksperimen Taguchi Grey Analysis Method*. POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA.
- Hasan, H. K. (2022). Analysis of the effecting parameters on laser cutting process by using response surface methodology (RSM) method. *Journal of Achievements in Material and Manufacturing Engineering*, 110(2). 59-66.
- Hidayat, M. A., Farid, A., & Suwandono, P. (2021). Analisa parameter pada pemotongan plate menggunakan CNC fiber laser cutting terhadap kekasaran permukaan. *TURBO*, 10(2), 239–247.
- Karyadi, K., Nanda, R. A., & Suhara, A. (2023). Analisa Cacat Timbul pada Material Aluminium Akibat Pemotongan Menggunakan Laser Cutting. *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, 5(1), 33–46. <https://doi.org/10.38038/vocatech.v5i1.127>

- Machmud, M. N. (2023). Eksperimen Pengaruh Kecepatan Pada Diameter Nozzle 2,5 mm dalam Proses Laser Cutting. *JOURNAL OF ENGINEERING AND SCIENCE*, 2(2), 84–89.
- Masri, Suhaeri, Machmud, M. N., Zainuddin, Saifuddin, & Azhar. (2023). Eksperimen Pengaruh Kecepatan Pada Diameter Nozzle 2,5 mm dalam Proses Laser Cutting. *Journal of Engineering and Science*, 2(2), 84–89. <https://doi.org/10.56347/jes.v2i2.168>
- Nugraha, A., Pradana, I. W., Nugroho, Y., & Nugrono, A. (2023). Analisis Proses Laser Cutting dengan Variasi Cutting Speed , Jarak Focusline , dan Gas Pressure terhadap Kekerasan dan Kekasaran Material MS SPHC. *JMPM: Jurnal Material Dan Proses Manufaktur*, 7(2), 160–169.
- Nurwahyudin, H., Atros, M. R. El, & Mualif. (2025). Analisis Pengaruh Pengaturan Parameter pada CNC Cutting Laser terhadap Kualitas Hasil Pemotongan pada Material Stainless Steel 304 di PT X. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 9(1), 121–130. <https://doi.org/10.30588/jeemm.v9i1.2164>
- Rajib, M., Atros, E., Sena, B., Hibatullah, F., & Permadi, S. (2025). Pengaruh Parameter Mesin CNC Laser Cutting Terhadap Kualitas Hasil Pemotongan Material Sheet Metal di PT. XYZ. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 13(2), 246–252.
- Rakasita, R., Karuniawan, B. W., & Juniani, A. I. (2016). OPTIMASI PARAMETER MESIN LASER CUTTING TERHADAP. *Jurnal Teknik Industri*, XI(2).
- Satyawardhana, N., & Lubis, M. S. Y. (n.d.). *Optimasi Parameter Proses Laser Cutting Terhadap Kekasaran Permukaan Material Acrylic Clear Dengan Menggunakan Metode Taguchi*. 5–10.
- Sunarto, Tjahjono, B., Hartono, Carli, Wattimena, R. M., Sai'in, A., Ulum, M. S. N., Hidayati, N., Gutomo, & Saputra, E. (2023). Pengaruh Kecepatan Potong Mesin CNC Laser Cutting terhadap Akurasi Potong untuk Efisiensi Proses Blanking. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 18(3), 453–462.
- Ürgün, S., Yi ğit, H., Fidan, S., & Sınmazçelik, T. (2024). Optimization of Laser Cutting Parameters for PMMA Using Metaheuristic Algorithms. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 49, 12333–12355. <https://doi.org/10.1007/s13369-023-08627-6>