ISSN : 2598–3814 (Online), ISSN : 1410–4520 (Cetak)

INVESTIGASI PENGARUH PARAMETER PROSES *LASER CUTTING* $C0_2$ TERHADAP KUALITAS PEMOTONGAN PADA MATERIAL AKRILIK (5 MM) MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

Erikson Panggabean, Junaidi
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Dan Komputer,
Universitas Harapan, Medan, Medan, Indonesia
ghabe81@gmail.com; junaidi.stth@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh parameter proses pemotongan laser CO_2 terhadap kualitas hasil pemotongan pada material akrilik lembaran (PMMA) dengan ketebalan 5 mm. Parameter proses yang diteliti meliputi daya arus listrik, kecepatan pemotongan, dan jarak titik fokus nozzle. Penelitian dilakukan di Laboratorium Proses Produksi dan Fenomena Dasar Mesin Fakultas Teknik dan Komputer Universitas Harapan Medan dengan menggunakan metode Taguchi sebagai pendekatan optimasi parameter. Kualitas hasil pemotongan dianalisis berdasarkan lebar kerf, kekasaran permukaan (surface roughness), dan zona terpengaruh panas (heat affected zone/HAZ). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kombinasi parameter tertentu mampu menghasilkan kualitas pemotongan yang optimal, dengan nilai kekasaran permukaan yang rendah, lebar kerf minimal, dan zona HAZ yang kecil. Metode Taguchi terbukti efektif dalam meminimalkan jumlah percobaan sekaligus memperoleh kombinasi parameter terbaik secara efisien dan sistematis. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi industri maupun praktisi dalam menentukan parameter optimal pemotongan akrilik menggunakan mesin laser CO_2.

Kata-Kata Kunci: *Laser Cutting CO_2, PMMA, Taguchi, Kekasaran Permukaan, Lebar Kerf, HAZ*

I. Pendahuluan

Dalam dunia industry terutama dalam teknologi manufaaktur yang semakin pesat, menuntut adanya pemotongan yang efisien ,presisi, dan ekonomis.Teknologi laser cutting adalah alat yang paling sering digunakan dalam industri ini karena kemampuannya dalam memotong berbagai jenis material seperti logam, plastik, kayu, akralik, dll, serta didesain dengan bantuan komputer dalam pengoperasiannya. (*Madić et al., 2013)* dalam penelitiannya mengoptimalkan kekasararan permukaaan terhadap baja lunak tipe S355J2G2 mendapatkan hasil parameter optimal yang diidentifikasi adalah kecepatan potong 7 m/min, daya laser 0,9 kw, dan tekanan gas bantu 3 bar (2013). Eksperimen dalam tiga jenis material polimer juga mendapat hasil (*Robert dkk 2016*) bahwa sampel material pertama PMMA (*Polymethyl methacrylate*) plexiglass xt lebih disukai karena nilai terukur, permukaaan halus sampel kedua poliamida (PA6) juga cocok dalam aplikasi laser sebab dapat dipotong dengan daya maksimum dan kecepatan rendah (50% dan 70%), dan sampel ketiga pp-c natur adalah yang terburuk dengan CO_2, karena kualitas kualitas pemtongan kurang memuaskan, disimpulkan dalam kasus 75% material-material ini dapat dipotong dengan daya laser maksimum dan umpan rendah. Upaya pengaruh parameter pada material PMMA lembaran tipis juga dilakukan oleh (*Ninikas et* al., 2*021*) pada journal manufacture dan proses, mereka mengidentifikasi efek kecepatan, daya laser, dan posisi orientasi sampel menggunakan plot ANOM dan ANOVA menyajikan data dalam hasil percobaanya nilai optimum LS:18 mm/s; LP:94,31 w;Z-or 90 derajat, YP 50 mm; XP 0 mm,nilai Ra yang akurat 0,6 mikro m meskipun nilai tekanan gas tidak diselidiki. Hal yang serupa juga dilakukan oleh (*Moradi et al., 2023*) pada lembaran PMMA tebal 5 mm dengan pemodelan statistik melaporkan hasil pendekatan fungsi desibilitas diperoleh kombinasi parameter optimasi daya laser 50,7w; kecepatan potong 4mm/s dan posisi focus 1,02mm yang menghasilkan kerf simetris dengan lebar minimal dan sudut potong kecil serta rasio kerf atas bawah mendekati 1.(*Ceritbinmez & Yapici, 2022*) juga meneliti pada material polimer tentang pengaruh tekanan gas bantu , kecepatan potong, kerf, dan kualitas pemotongan bahwa pemotongan laser CO_2 berdaya rendah juga memiliki potensi signifikan untuk meningkatkan kualitas pemotongan dalam hal kekasaran permukaan (SR), zona terpengaruh panas (HAS), KW, pembentukan sampah, dan striasi. Pada tahun sebelumnya, (*Ninikas et al.,2021*) melakukan penelitian pada material yang sedikit berbeda fused fabrikasi filament (FFF) dan PLA setebal 4 mm mencari sudut kerf, kekasaran permukaan menggunakan metode model regresi kuadrat penuh dan prediksi jaringan syaraf tiruan. Dalam penelitiannya melaporkan bahwa optimasi parameter yang digunakan dalam menunjukkan pengaruh sudut *kerf*(Ra) sebesar 77%, pengaruh daya 2,24% juga kisaran umum dalam hal perolehan keseluruhan menggunakan beberapa soolusi optimal indikatif sebesar 10 dan 55%. *(Palanisamy et al., 2023*) Studi parametrik dan zona yang terpengaruh panas pada pemotongan laser CO_2 akrilikmen dapat hahsi bahwa kecepatan pemindaian laser yang lebih tinggi menghasilkan lebar pemotongan yang lebih rendah. Demikian pula,

celah nosel-kerja yang lebih besar menghasilkan lebar pemotongan yang lebih kecil. Arus yang lebih tinggi menghasilkan pemotongan yang lebih besar pada akrilik. Kecepatan pemindaian laser yang lebih tinggi menghasilkan laju penghilangan material yang lebih tinggi. Namun, celah nosel-kerja material yang lebih tinggi menghasilkan MRR yang lebih rendah. Seiring dengan peningkatan kecepatan pemindaian laser, HAZ meningkat. Ketika celah nosel-kerja material meningkat, HAZ menurun pada kecepatan pemindaian laser rendah dan sedang, tetapi meningkat pada kecepatan pemindaian laser tinggi.*PMMA* sangat cocok untuk pemotongan laser *CO2* karena memiliki absorbansi panjang gelombang tinggi sebesar 95%. Pemotongan laser *CO2* digunakan untuk memotong bentuk yang sangat kompleks, mengurangi keterbatasan pemotongan bentuk dan meningkatkan kekuatan sudut dengan mengurangi tekanan pada tepi material. Karena *PMMA* memiliki penyerapan panjang gelombang yang tinggi, ia menghasilkan kualitas potongan yang tinggi dan retakan mikro minimal pada material (*Dudala dkk. 2020*, *Khamar ve Kumar 2015*, *Prakash ve Prakash 2020*). *Ding, Wang, dan Guo(2020)* melakukan penelitian untuk mengoptimalkan pemotongan laser serat berdasarkan jaringan saraf regresi umum dan algoritma genetika pengurutan non-dominan. Selanjutnya (*KURT et al., 202*3) juga menambahkan pada penelitannya investigasi efek parameter didapatkan data sebesar 95% lebar *kerf* dalam keyakinan ANOVA, juga daya laser 80%.(*Alhawsawi et al., 2023*)Dalam laporan penelitiannya tentang karakteristik *kerf* selama pemotongan laser CO_2 pada bahan polimer: Investigasi eksperimental dan prediksi berbasis pembelajaran mesin mendapat hasil Variasi bukaan *kerf* yang dibuat menggunakan pemotongan sinar laser dalam empat bahan polimer yaitu PE, PP, PVC, dan PMMA diteliti dan di modelkan. KOD dari PP memiliki nilai terendah diantara semua bahan potong, sedangkan KOD dari PMMA memiliki nilai tertinggi. Rata-rata KOD PP, PE, PVC, dan *PMMA* adalah 36,35, 136,98, 130,81, ddan 205,44 µm.KOD PP dan PMMA meningkat seiring dengan kecepatan pemotongan dan menurun seiring dengan daya laser. KOD PE meningkat seiring dengan daya laser dan menurun seiring dengan kecepatan pemotongan. KOD dari PVC meningkat pada tingkat kecepatan pemotongan dan laser yang lebih rendah dan/atau lebih tinggi daya dan menurun pada tingkat kecepatan pemotongan dan daya laser sedang.

II. Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen pada laser cutting dengan menvariasikan parameter daya, kecepatan) dan jarak. Semua kegiatan dilakukan pada Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Universitas Harapan Medan, instrument dan peralatan pendukung yang digunakan pada penelitian ini sebagian menggunakan fasilitas laboratorium.

2.1 Material

Maaterial yang digunakan pada penelitian ini jenis akralik dengan spesifikasi mekanikal bahan tersaji pada Tabel 1 dimana untuk material akralik standart dari pabrik.

Tabel 1. Data sifat fisik & Mekanik metrial akralik

Sifat fisik	Nilai
Warna	Transparan
Kerapatan (density)	1,18-1,20g/cm3
Titik Leleh	Kurang lebih 160*c
Trasmisi cahaya	Kurang lebih 92% (akrilik bening)
Ketahanan terhadap UV	Baik, tidak mudah menguning
Daya Serap Air	Rendah(0,3-0,5%)

Sifat Mekanik	Nilai
Kekuatan Tarik	60-80Mpa
Kekuatan lentur	90-120 Mpa
Modulus Elastiositas	2,4 -3,2 Gpa
Kekerasan	M 90 –M 100
Ketangguhan terhadap benturan	Lebih kurang 1,5 – 3,5 kj/m2

2.2 Alat dan instrument pengujian

Laser yang digunakan pada penelitian ini adalah G.WEIKE LC138ON dengan spesifikasi teknis tersaji pada Tabel 2.



Gambar 1. Alat potong Laser cutting CO2

Tabel 2 : Spesifikasi Mesin Laser Cutting CO_2

Parameter	Spesifikasi
Jenis Laser	CO_2 (Karbon Dioksida)
Daya Laser	100W – 130W (estimasi berdasarkan ukuran mesin)
Area Kerja	± 900 mm × 600 mm atau 1200 mm × 900 mm (estimasi visual)
Panjang Gelombang	10.6 µm
Kecepatan Potong Maks.	Hingga 500 mm/s (tergantung material & daya)
Kecepatan Ukir Maks.	Hingga 1000 mm/s
Akurasi Posisi	± 0.1 mm
Sistem Pendingin	Water Cooling (pompa air atau chiller)
Tipe Kontrol	DSP Controller (contoh:

	Ruida, Trocen)
Software Pendukung	RDWorks, LightBurn, CorelDRAW (melalui plugin), AutoCAD
Format File	.AI, .DXF, .PLT, .BMP, .JPG, .PNG, .TIF
Sumber Daya	AC 220V / 50Hz
Fitur Keamanan	Emergency Stop Button, Kunci keamanan, Interlock, Ventilasi Fan
Fitur Tambahan	Air Assist, Exhaust Fan, Panel kontrol digital
Material yang Bisa Diproses	Akrilik, MDF, kayu, kulit, karet, kain, karton, plastik tertentu

2.3 Instrument pengujian

Alat uji mikroskop yang digunakan untuk mengukur celah potong kerf), Alat pengukur kekasaran permukaan yang digunakan pada pengujiian hasil pemotongan laser cutting mitutoyo SJ-210 standart ISO 1 Gambar 2.



a



b

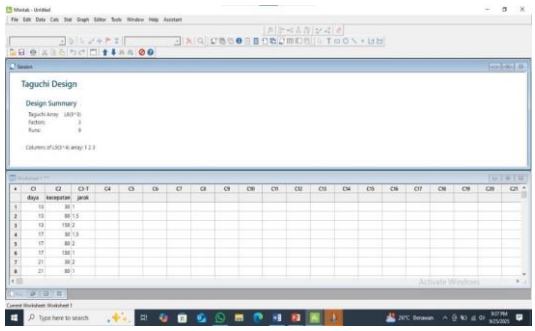
Gambar 2. Alat pengujian mikrcupter(a), styluss profilometer(b)

2.4 Desain Eksperimen pengujian

Desain data experimental digunakan karena memiliki kemampuan yang handal untuk menghasilkan data yang relevan dalam pengerjaan penelitian. Metode yang paling umum digunakan adalah desain faktorial yang terdiri dari faktor dan dan level pengukuran.Tabel 3 menunjukkan dua level tiga factor 2^3dengan analisa taguchi S/N ratios Lg dengan jarak nozel 2 cm,analisa dilakukan dengan perangkat lunak MINITAB versi 18.

Tabel 3. Parameter mesin potong

No	Parameter	Nilai
1	Daya	13,17,21%
2	Kecepatan	30,0,150 mm/s
3	Jarak	2 cm



Gambar 3. Desain metode taguchi L9

III. Hasil Dan Pembahasan

Hasil dari pengujian experiment microcupter dan kekasaran dilakukan secara langsung, data keluaran dari hasil pengujian berrupa angka yang dikeluarkan alat uji, selanjutnya data hasil pengukuran dianalisa menggunakan menggunakan mdel satatistik rtgnal array, untuk menganalisa dan pengambilan keputusan mengggunakan perangkat lunak Minitab 18, sebelum menganalisa kemodel taguchi pengujian normalitas data dilakukan guna mengetahui sebaran data, jika data terdistribudi normal maka data boleh dilakukan dengan uji parametric selanjutnya.

3.1 Uji microcupter dan styluss profilometer

Hasil pengujian yang dilakukan sesuai dengan desain experimental pada pengujian micorcupter disajikan dalam tabel yang tertera pada Tabel 4.

Tabel 4. Desain experimental pemotongan menggunakan ortogonal array

Run	Kecepatan (Speed) Mm/s	Hasil kedalaman (mm)	Lebar pemotongan (kerf) mm	Kekasaran permukaan (mm)	Jarak cm
1	30	3,574	0,990	4,816	
2	90	2,929	0,954	6,986	
3	150	2,877	1,396	3,951	
4	30	5,682	1,026	6,268	2 cm
5	90	3,111	1,412	4,017	
6	150	1,310	0,986	3,632	
7	30	6,000	1,500	5,167	
8	90	4,213	1,238	5,092	
9	150	1,316	1,500	2,986	

Faktor Kecepatan

a) Kedalaman: Semakin tinggi kecepatan, kedalaman potong semakin menurun drastis. Level terbaik untuk kedalaman adalah 30 mm/s.
b) Kerf: Nilai kerf relatif stabil, namun sedikit meningkat pada kecepatan tinggi (150 mm/s). Level terbaik adalah 30 mm/s (karena kerf terkecil).
c) Kekasaran: Semakin tinggi kecepatan, kekasaran semakin kecil. Level terbaik adalah 150 mm/s.

Artinya, untuk mendapatkan potongan dalam dan sempit, gunakan kecepatan rendah. Tetapi jika ingin permukaan halus, gunakan kecepatan tinggi.

Faktor Daya

a) Kedalaman: Semakin besar daya, kedalaman meningkat. Level terbaik untuk kedalaman adalah 21%.
b) Kerf: Kerf makin besar jika daya ditingkatkan. Level terbaik untuk kerf adalah 13%.
c) Kekasaran: Kekasaran menurun saat daya naik, dengan hasil terbaik di 21%.

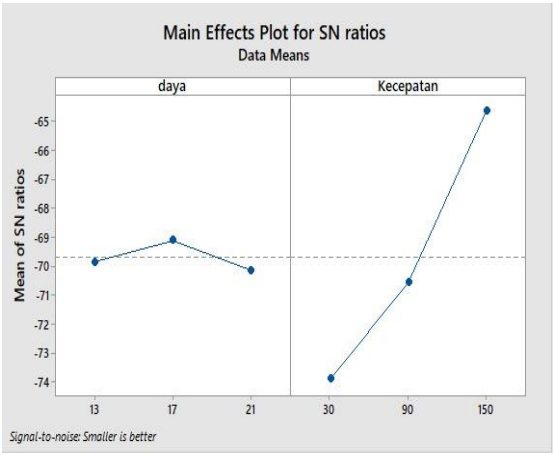
Artinya, daya tinggi menghasilkan potongan lebih dalam dan permukaan lebih halus, tapi dengan risiko kerf lebih lebar.

Kesimpulan Optimal (dari rata-rata)

a) Kedalaman optimal: Kecepatan rendah (30 mm/s), Daya tinggi (21%)
b) Kerf minimal: Kecepatan rendah (30 mm/s), Daya rendah (13%)
c) Kekasaran minimal: Kecepatan tinggi (150 mm/s), Daya tinggi (21%)

3.2 S/N ratio

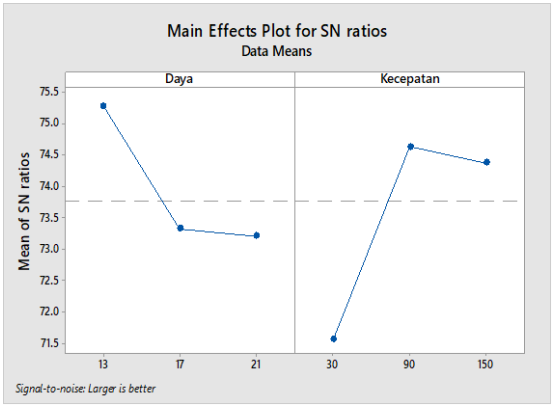
Analisa s/n ratio yang digunakan untuk penepatan nilai optimum dari semua kondisi yang sudah dilakukan,analisa yang dilakukan pasa s/n ratio untuk hasil mikrocupter yaitu analisis taguci desin small is the better yaitu mendapatkan nilai minimum (rendah) dari respon parameter, daya, kecepatan dan jarak dimana hasil dari semua respon parameter akan menghasilkan parameter baru yang direkomendasikan.berbeda untuk analisa kekasaran permukaan analisis taghuci yang digunakan yaitu large is the better diamana nilai paling tinggi menjadi nilai yang paling bagus. Hasil dari analisa menggunakan taguchi disajikan dalam bentuk Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4: Analisa small is the better untuk kedalaman potong

Tabel 5 : Respon tabel for signal to noise ratios Smaller is better

Level	daya	Kecepatan
1	-69.86	-73.91
2	-69.10	-70.56
3	-70.15	-64.64
Delta	1.05	9.27
Rank	2	1



Gambar 5. Analisa large is the better untuk kekasaran permukaan

Tabel 6: Respon tabel for signal to noise ratios Data Larger is better

Level	Daya	Kecepatan
1	75.27	71.57
2	73.32	74.62
3	73.20	74.37
Delta	2.07	3.05
Rank	2	1

3 .3 Pembahasan

Berdasarkan pendekatan rata-rata, diperoleh rekomendasi kombinasi optimal:

1. Untuk kedalaman maksimal: Kecepatan 30 + Daya 21%
2. Untuk kerf minimal**:** Kecepatan 30 + Daya 13%
3. Untuk kekasaran minimal: Kecepatan 150 + Daya 21%

Konflik optimasi tetap terjadi antar respon, sehingga perlu kompromi atau menggunakan metode optimasi multi-respon untuk menentukan setting terbaik yang mempertimbangkan semua aspek kualitas secara bersamaan.

Analisis rata-rata ini memberikan gambaran awal yang konsisten dengan analisis S/N ratio sebelumnya.

IV. Kesimpulan

1. Pengaruh Kecepatan (Speed):
   a. Kedalaman pemotongan: Kecepatan 30 memberikan kedalaman tertinggi (5.085 mm), sedangkan kecepatan 150 memberikan kedalaman terendah (1.834 mm)
   b. Lebar pemotongan (Kerf): Kecepatan 30 memberikan kerf terbaik (1.172 mm), kecepatan 150 terburuk (1.294 mm)
   c. Kekasaran permukaan: Kecepatan 150 memberikan hasil terbaik (3.523 mm), kecepatan 30 terburuk (5.417 mm)

2. Pengaruh Daya (Power):
   a. Kedalaman pemotongan: Daya 21% memberikan kedalaman tertinggi (3.843 mm)
   b. Lebar pemotongan (Kerf): Daya 13% memberikan kerf terbaik (1.113 mm), daya 21% terburuk (1.413 mm)
   c. Kekasaran permukaan: Daya 21% memberikan hasil terbaik (4.415 mm)

3. Terdapat trade-off yang jelas antar parameter kualitas:
   a. Kecepatan tinggi (150) bagus untuk kekasaran tetapi buruk untuk kedalaman dan kerf
   b. Kecepatan rendah (30) bagus untuk kedalaman dan kerf tetapi buruk untuk kekasaran
   c. Daya tinggi (21%) bagus untuk kedalaman dan kekasaran tetapi buruk untuk kerf, hal ini juga diperkuat loeh(*Alhawsawi et al., 2023*) Dalam laporan penelitiannya tentang karakteristik *kerf* selama pemotongan laser CO2 pada bahan polimer, mendapatkan hasil Rata-rata KOD PP, PE, PVC, dan *PMMA* adalah 36,35, 136,98, 130,81, dan 205,44 µm.KOD PP dan PMMA meningkat seiring dengan kecepatan pemotongan dan menurun seiring dengan daya laser.

Daftar Pustaka

[1] Alhawsawi, A. M., Moustafa, E. B., Fujii, M., Banoqitah, E. M., & Elsheikh, A,. 2023. *Kerf characteristics during CO2 laser cutting of polymeric materials: Experimental investigation and machine learning-based prediction*. Engineering Science and Technology, an International Journal, *46*(June), 101519. https://doi.org/10.1016/j.jestch.2023.101519

[2] Ceritbinmez, F., & Yapici, A., 2022. *An investigation on cutting of the MWCNTs doped composite plates by CO2 laser beam*. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, *94*(2), 279–288. https://doi.org/10.1108/AEAT-01-2021-0009

[3] Kurt, E., Karaçay, U. E., & Tutar, M., 2023. *Investigation of the Effect of Process Parameters in CO2 Laser Cutting of Pmma Material By Response Surface Method*. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, *28*(2), 523–536. https://doi.org/10.17482/uumfd.1220597

[4] Madić, M., Radovanović, M., & Slatineanu, L. 2013. *Surface Roughness Optimization in CO2 Laser Cutting By Using Taguchi Method. U.P.B.* Sci. Bull., Series D, *75*(1), 97–106. https://www.semanticscholar.org/paper/SURFace-Roughness-Optimization-In-CO2-Laser-Cutting-Slătineanu/41d11fd1ffc519007bfaaa9f36b82eaf7b9de645

[5] Moradi, M., Rezayat, M., Meiabadi, S., Karamimoghadam, M., Hillyard, S., Mateo, A., Casalino, G., Tanveer, Z., Adnan Manzoor, M., Iqbal, M. A., & Razmkhah, O., 2023. C*apability Enhancing of CO2 Laser Cutting for PMMA Sheet Using Statistical Modeling and Optimization*. Applied Sciences *(Switzerland)*, *13*(23). https://doi.org/10.3390/app132312601

[6] Ninikas, K., Kechagias, J., & Salonitis, K. 2021. *The impact of process parameters on surface roughness and dimensional accuracy during CO2 laser cutting of pmma thin sheets*. Journal of Manufacturing and Materials Processing, *5*(3). https://doi.org/10.3390/jmmp5030074

[7] Palanisamy, C., Efzan, M. N. E., & Wen, C. C. 2023. *Parametric and heat affected zone study on CO2 laser cutting of acrylic. Methods X*, *10* (February), 102125. https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102125