

Metode Taguchi - PCR Topsis Untuk Optimasi Energi Dan Kecepatan Grafir Mesin Laser

Adi Nugroho¹, Adhi Setya Hutama²

^{1,2}Program Studi Teknologi Rekayasa Perancangan
Manufaktur - Politeknik ATMI Surakarta

¹adi.nugroho.th@gmail.com, ²adhisetyahutama@gmail.com

ABSTRACT

Along with technological developments and easy access to insight into creative entrepreneurship, many people are competing to create creative products, one of which is by utilizing laser technology. Laser cutting and engraving is used for the manufacture of engraving products in acrylic, wood, glass, leather etc. The uniqueness of the results of laser engraving is uniform surface roughness and detailed product contours. The main challenge of the laser engraving process is the process of setting parameters that take a long time to get the desired surface roughness. The old process certainly results in high energy consumption which affects the cost of the process. In this study the Taguchi method combined with PCR-TOPSIS was used to optimize the engraving process parameters. The parameters measured are scan speed, nozzle distance to the sample surface, and the percentage of energy for the engraving process. The response parameters consist of the level of surface roughness, processing time, and energy consumption used. The results of the optimization test obtained the engraving speed is 200 mm/s, the percentage of energy released by the laser engrave machine was 10 % and the nozzle distance was 10 mm.

Keywords: Engraving Laser, Taguchi Method, PCR Topsis.

I. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan teknologi dan mudahnya akses wawasan kewirausahaan kreatif (Pahlevi, 2017), banyak masyarakat berlomba-lomba membuat produk kreatif, salah satunya dengan memanfaatkan teknologi laser. Keuntungan penggunaan laser adalah kemudahan operator dalam mengintegrasikan desain dari komputer ke mesin laser, proses pemotongan yang cepat, minim tatal, dan hasil produk yang presisi. Menurut Prihandianto (2015) penerapan aplikasi laser untuk industri saat ini berupa *engraving laser* untuk pembuatan ukiran atau grafir, laser sintering untuk *addictive*

manufacturing 3D Printing, dan laser yang sering digunakan di industri yaitu *laser cutting*.

Engraving laser digunakan untuk pembuatan ukiran atau grafir pada material akrilik, kayu, kaca dll seperti Gambar 1.1. keunikan dari hasil *engraving laser* adalah kekasaran permukaan yang merata dan produk yang detail. Untuk mendapatkan hasil tersebut, terdapat beberapa parameter yang harus diketahui, seperti kecepatan *scan* untuk menggrafir, dan jarak nozzle terhadap permukaan material, dan persentase energi yang dibutuhkan selama proses grafir.



Gambar 1.1 Contoh Produk Engraving Laser

Terdapat beberapa kekurangan dari proses *engraving laser*, antara lain durasi waktu yang lama untuk mendapatkan kekasaran permukaan yang diperlukan, sehingga mengakibatkan proses pengaturan parameter juga menjadi lama. Oleh karena permasalahan tersebut, dilakukan uji optimasi untuk menentukan parameter-parameter yang sesuai untuk mendapatkan kekasaran grafir yang dibutuhkan.

Pengujian optimalisasi menggunakan metode Taguchi dengan multi respon, yang dipadukan dengan metode PCR-TOPSIS. Penggunaan metode Taguchi dikarenakan pertimbangan keefektifan dan keefisienannya (Belavendram, 1995). Parameter yang diukur dari penelitian ini adalah kecepatan *scan*, jarak *nozzle* terhadap permukaan sampel, dan persentase energi untuk melakukan grafir. Sedangkan parameter respon terdiri dari kekasaran permukaan, waktu proses, dan konsumsi energi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pengujian optimasi terkait mesin laser dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Penelitian tentang mesin laser lebih ditujukan untuk memperoleh variasi parameter yang tepat dalam melakukan proses kerja, seperti pemotongan maupun grafir. Prihandianto (2015) mengoptimasikan parameter daya laser, kecepatan potong, dan pengaruh jarak *head laser* agar diperoleh kekasaran permukaan yang merata dan lebar celah yang minimum. Rakasita dkk

(2016) menggunakan metode Taguchi untuk mengoptimasikan titik fokus laser, tekanan gas, dan kecepatan potong untuk meminimalkan kekasaran dan laju pemotongan pada material SUS 316L. Armansyah, dkk (2015) mengoptimalkan parameter kecepatan potong, *laser power*, dan *nozzle distance* untuk mendapatkan kekasaran permukaan potong yang baik, dan merata dengan menggunakan metode *surface response method*. Saputro dan Sunaryo (2011) memberikan kesimpulan untuk mendapatkan kekasaran permukaan yang terkecil untuk material ST 40, dengan nilai $0,067 \mu\text{m}$ adalah dengan mengkombinasi parameter putaran alat potong yang cepat, lebih dari 1000 rpm, kecepatan pemakanan yang pelan, sekitar $0,17\text{mm/rev}$, dan kedalaman pemakanan yang tidak lebih besar dari 1,5mm.

Terdapat beberapa metode untuk mengoptimasi sebuah proses atau kombinasi dari beberapa parameter, seperti *Surface Response Method*, *Full Factorial Design*, *Fractional Design* (Hutama, 2016).

Metode taguchi memiliki keuntungan dalam hal uji coba, karena parameter terukur telah dimodifikasi menjadi susunan *orthogonal array*, dan menstransformasi data yang diperoleh dalam bentuk *Signal to Noise Ratio* (SNR). SNR mengakomodasi berbagai jenis optimasi yang diperlukan oleh peneliti, dan diberikan 3 pilihan, yaitu *smaller the better*, *nominal the better*, dan *larger the better*.

Smaller the better

$$\frac{S}{NR} = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (1)$$

Larger the Better

$$\frac{S}{NR} = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (2)$$

Nominal the Better

$$\frac{S}{NR} = 10 \log_{10} \frac{\mu^2}{\sigma^2} \quad (3)$$

Karena metode Taguchi merupakan pengujian dengan respon tunggal, untuk penelitian multirespon, Taguchi harus dipadukan dengan pendekatan optimasi seperti PCR-TOPSIS. TOPSIS menggunakan prinsip bahwa alternatif yang terpilih harus mempunyai jarak terdekat dari solusi ideal positif dan jarak terpanjang (terjauh) dari solusi ideal negatif dari sudut pandang geometris dengan menggunakan jarak Euclidean (jarak antara dua titik) untuk menentukan kedekatan relatif dari suatu alternatif dengan solusi optimal (Rinanto dkk, 2018).

Menurut Kusumawardani (2015) untuk mendapatkan hasil Optimalisasi Metode Taguchi dengan pendekatan PCR-TOPSIS dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

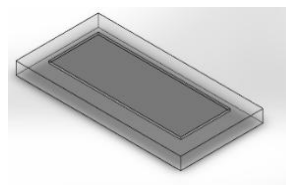
- Menghitung Signal to Noise.
- Menghitung PCR-SNR Ratio untuk masing-masing percobaan
- Menghitung TOPSIS dari hasil PCR-SNR
- Menguji hasil dari Parameter terukur dan Hasil TOPSIS PCR-SNR dengan ANOVA. Jika Nilai p-value lebih dari 5% maka nilai dari kondisi optimum tersebut valid dan dapat digunakan. Jika nilai dari P-Value kurang dari 5% maka nilai dari kondisi optimum tidak tercapai dan tidak dapat dilanjutkan.
- Menentukan kondisi nilai optimal setiap respon

III. METODOLOGI

Pengoptimasian untuk mendapatkan kombinasi parameter dari mesin laser agar didapatkan produk grafir yang sesuai dengan permintaan masyarakat dilakukan di Laboratorium Testing PUT-P ATMI Surakarta. Mesin Laser Cutting Hans Yueming tipe CMR0604-BR (Gambar 3.1) digunakan untuk menggrafir sampel uji yang berbahan akrilik dengan dimensi 10x30mm (Gambar 3.2)



Gambar 3.1. Mesin Laser Cutting Engraving



Gambar 3.2. Desain Sampel Eksperimen dengan Grafir 10x30mm

Selanjutnya dilakukan pemilihan parameter terukur dan respon. Pengujian optimasi menggunakan 3 parameter terukur dengan 3 level untuk setiap parameternya (Tabel 3.1), sedangkan respon dari pengujian ini adalah konsumsi energi, waktu yang diperlukan selama proses produksi, dan kekasaran permukaan grafir.

Tabel 3.1. Parameter Terukur dan Level untuk Uji Coba

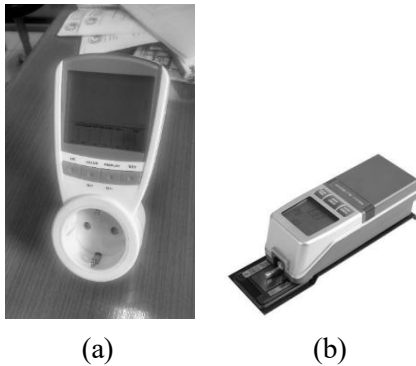
Parameter	Level		
	1	2	3
A Kecepatan Grafir (mm/s)	200	300	400
B Jarak Nozzle (mm)	8	9	10
C Persentase Energi	9	10	11

Metode Taguchi digunakan untuk mendapatkan susunan *orthogonal array* dengan 3 parameter terukur dan 3 level. Dalam perhitungan diketahui derajat kebebasannya (df) sebesar 6. *Orthogonal array* yang dipilih adalah yang memiliki $df > 6$ dan dapat memenuhi kebutuhan eksperimen dengan 3 faktor dan 3 level. Sehingga *orthogonal array* L9 dipilih dalam penelitian ini (Tabel 3.2).

Tabel 3.2. Tabel Orthogonal Array L9

	Kecepatan Grafitr	Jarak Nozzle	Persentase Daya	Parameter Respon
	(mm/s)	(mm)	(%)	
1	200	8	9	x
2	200	9	10	x
3	200	10	11	x
4	300	8	10	x
5	300	9	11	x
6	300	10	9	x
7	400	8	11	x
8	400	9	9	x
9	400	10	10	x

Setelah didapatkan susunan untuk melakukan eksperimen, maka langkah berikutnya adalah pembuatan sampel yang sesuai dengan kombinasi tersebut, dan dilakukan pengukuran terhadap respon.



Gambar 3.3. Alat Ukur KWH Meter (a) dan Roughness Tester (b)

Pengukuran konsumsi energi menggunakan alat ukur KWH Meter, pengukuran waktu menggunakan stopwatch dan Pengukuran kekasaran permukaan hasil grafitr menggunakan alat surface roughness tester-Mitutoyo, model: SJ-201P (Gambar 3.3).

Setelah didapatkan data eksperimen, dilakukan penghitungan nilai SNR dengan kriteria *smaller the better*, dan penghitungan PCR-TOPSIS. Nilai TOPSIS dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan kondisi optimal.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat 9 kali percobaan yang tersusun dalam *orthogonal array L9*, dan setelah dilakukan eksperimen dan diukur maka didapatkan nilai parameter respon (tabel 4.1).

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Parameter Respon

Ekspe rimen	Konsumsi Energi	Waktu Proses	Kekasaran Permukaan
	(W.h)	(s)	(μm)
1	6.3	25.4	3.52
2	6.1	25.4	6.14
3	6.4	25.4	6.91
4	4.9	20.2	4.86
5	6.5	20.2	4.47
6	5.2	20.2	4.69
7	4.3	18.6	5.75
8	4.5	18.6	3.8
9	4.6	18.6	5.58

Parameter respon pada Tabel 4.1 diolah menggunakan *software minitab 18*, untuk mendapatkan nilai SNR dengan kriteria *smaller the better* untuk setiap parameter respon(Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Nilai SNR dengan Kriteria Smaller the Better

	SNR		
	Konsumsi Energi	Waktu Proses	Kekasaran Permukaan
1	-15.9868	-28.096674	-10.93085327
2	-15.7066	-28.096674	-15.76336742
3	-16.1236	-28.096674	-16.78956095
4	-13.8039	-26.107027	-13.73272539
5	-16.2583	-26.107027	-13.00615046
6	-14.3201	-26.107027	-13.42345685
7	-12.6694	-25.390259	-15.19335689
8	-13.0643	-25.390259	-11.59567193
9	-13.2552	-25.390259	-14.93268398

Kemampuan proses digunakan untuk mengetahui apakah suatu proses berada antara spesifikasi atas dan bawah (Rinanto, 2018). Suatu proses dapat dikatakan baik, apabila berada dalam ± 3 standar deviasi rata-rata. Nilai PCR-SN Ratio diperoleh dari transformasi nilai SN Ratio dari setiap variabel respon (Tabel 4.3).

Tabel 4.3. Hasil Penghitungan PCR-SNR

PCR SNR			
	Konsumsi Energi	Waktu Proses	Kekasaran Permukaan
1	1.163802	2.972672	1.417579171
2	1.123361	2.972672	2.948065926
3	1.183803	2.972672	3.344397367
4	0.867681	2.566563	2.237446529
5	1.20366	2.566563	2.006950874
6	0.933782	2.566563	2.137804253
7	0.730912	2.427568	2.738713946
8	0.777185	2.427568	1.595258376
9	0.800065	2.427568	2.645543717

Penentuan jarak terdekat dengan solusi ideal positif dan jarak terjauh dengan solusi ideal negatif, maka digunakan metode pengambilan keputusan multikriteria TOPSIS. Nilai TOPSIS dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan kondisi optimal faktor/level. Hasil perhitungan TOPSIS terdapat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Penghitungan TOPSIS

	di+	di-	PCR TOPSIS
1	1.974847	0.546559	0.216767597
2	0.557759	1.626646	0.744663216
3	0.45289	2.002539	0.81555552
4	1.187	0.896874	0.43038786
5	1.475526	0.60554	0.290975855
6	1.289165	0.781587	0.377441069
7	0.814856	1.40317	0.632621089
8	1.832694	0.462008	0.201336674
9	0.888998	1.292589	0.5924995

Kondisi optimum dari nilai PCR-TOPSIS perlu diuji reliabilitas dan validitas dengan menggunakan metode ANOVA. Pada Tabel 4.5. diketahui kondisi optimum untuk setiap parameter terukur dan level. Dan setelah dilakukan pengujian ANOVA (Tabel 4.6) didapatkan nilai dari kondisi optimum tersebut valid (nilai P-Value lebih dari 5%) dan bisa dilanjutkan untuk menyimpulkan kombinasi dari parameter terukur yang optimum.

Tabel 4.5. Kondisi Optimum

Parameter	Level		
	1	2	3
A. Kecepatan Potong (mm/s)	0.593	0.366	0.475
B. Jarak Nozzle (mm)	0.426	0.4123	0.595
C. Persentase Energi	0.265	0.589	0.579

Tabel 4.6. Anova Pengujian Nilai Kondisi Optimum

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F _{crit}
Between Groups	0.006812	2	0.003406	0.19	0.8284	3.402826
Within Groups	0.430956	24	0.017956			
Total	0.437768	26				

Setelah dilakukan uji ANOVA, nilai PCR-TOPSIS dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan kondisi optimal level dari parameter terukur. Rata-rata dari tiap parameter dan level dihitung sehingga diketahui mean rata-rata terbesarnya. Sehingga Pada tabel 4.6 dapat dijelaskan kondisi optimum dari parameter kecepatan grafir mempunyai nilai rata-rata terbesar pada kondisi level 1, sedangkan jarak nozzle nilai terbesar terletak pada level 3, dan persentase energi pada level 2. Sehingga dapat disimpulkan untuk parameter kecepatan grafir 200 mm/s, persentase energi yang dikeluarkan mesin laser cutting sebesar 10% dan jarak nozzle 10mm merupakan parameter optimum untuk pembentukan produk grafir dengan material akrilik dengan dimensi 10x30 mm, dan kekasaran permukaan mendekati Ra=0,02 μm .

V. KESIMPULAN

Metode Taguchi yang dipadukan dengan PCR-TOPSIS dapat digunakan untuk mengetahui kombinasi parameter dari mesin laser engraving untuk mendapatkan kekasaran permukaan, waktu proses dan konsumsi energi yang minimal. Optimasi parameter kecepatan grafir adalah 200mm/s, persentase energi yang dikeluarkan adalah 10% dan jarak *nozzle* terhadap permukaan benda adalah 10mm.

REFERENSI

- Saputro, H dan Sunaryo, 2011. Prediksi Kekasaran Permukaan Baja ST 40 Berbasis Model Analiss Regresi Ganda pada Permesinan CNC Frais. *Jurnal POLITEKNOSAINS. Vol 10 No. 1*, Pp 121-138
- Pahlevi, A.S., 2017, Gagasan Tentang Pengembangan Ekonomi Kreatif Nasional, *Seminar Nasional Seni dan Desain*, UNESA, Surabaya
- Prihandianto, B.D. 2015, Optimasi Parameter Pemotongan Polymethyl Methacrylate pada Mesin Laser Cutting CO2. *Thesis*. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta
- Rakasita, R., Karuniawan, B.W., Anda, I.J., 2016, Optimasi Parameter Mesin Laser Cutting Terhadap Kekasaran Dan Laju Pemotongan Pada Sus 316l Menggunakan Taguchi Grey Relational Analysis Method. *Jurnal Teknik Industri*. Vol.11 no.2
- Rinanto, A, Nugroho, A, Prasetyo, H, Pujiyanto, E., 2018, Kekuatan tarik dan Konsumsi Energi Proses Fused Deposition Modelling Spesimen ASTM D638 Menggunakan Metode Taguchi dan PCR-TOPSIS. 2018. *ICST UGM*. Vol. 1
- Hutama, A.S., 2015. Optimasi Pembuatan Biokeramik dengan Struktur Pori-pori Beraturan. *Thesis*. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- Rao, R., V., 2013. *Decision Making in the Manufacturing Environment Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Volume 2*. New York: Springer London Heidelberg
- Kusumawardani, M., Mustafid., Yasin H., 2015, Optimalisasi Parameter Teknik Pengelasan *Flux Cored Arc Welding* (Fcaw) Menggunakan Metode Taguchi Multirespon Pcr-Topsis, *Jurnal Gaussian*, Vol. 4, No. 3, Pp 573-582
- Belavendram, Niccolo, 1995, *Quality By Design*, John Wiley and sons Inc., Hoboken.
- Armansyah, Kurniawan, B.W., 2015, Pengaruh Kecepatan Potong Pada Pemotongan Polymethyl Methacrylate Menggunakan Mesin Laser Cutting, *Seminar Nasional Teknologi*, Institut Teknologi Malang, Malang