

OPTIMASI *SETUP* PROSES *ENGRAVING* CNC LASER *CUTTING* MATERIAL AKRILIK MENGGUNAKAN *SIMPLEX CENTROID DESIGN* DAN OPTIMASI RESPON

SETUP OPTIMIZATION OF ENGRAVING PROCESS CNC LASER CUTTING MACHINE ON ACRYLIC MATERIAL USING SIMPLEX CENTROID DESIGN AND RESPONSE OPTIMIZATION

Dewa Kusuma Wijaya*, Dwi Nurul Izzhati

*Email: dewa.kuja@gmail.com, izzhati2@gmail.com

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Dian Nuswantoro Semarang

Abstrak — Artikel ini membahas penelitian terkait optimasi komposisi level *setup* proses *engraving* mesin CNC laser *cutting* tipe G-Weike LC6090 terhadap material akrilik. Penelitian ini dibutuhkan karena tidak adanya acuan tabulasi level *setup* proses *engraving* pada mesin tersebut, sehingga *setup* proses hanya berdasarkan perkiraan. Hal ini memunculkan masalah terkait kualitas hasil proses, efisiensi permesinan, dan masa pakai tabung CO₂ penghasil laser. Artikel ini memperlihatkan hasil optimasi komposisi level *setup* optimal proses *engraving* menggunakan *Design of Experiment* (DoE) dengan metode *Simplex Centroid Design* (SCD) dan optimasi multi respon. Faktor komposisi *setup* dalam penelitian ini adalah kecepatan proses, kekuatan, dan interval pemakanan laser. Sedangkan parameter multi respon yang diukur adalah waktu proses, *depth*, dan *roughness*. Model formulasi matematis akan dihasilkan dari setiap parameter responnya, kemudian dilakukan optimasi respon tersebut berdasarkan *depth* yang diinginkan. Hasil penelitian menunjukkan terdapat *trade off* dari parameter multi responnya, serta diperoleh komposisi level *setup* optimal untuk batas *depth* (p) $0,3 \text{ mm} \geq p \leq 1,34 \text{ mm}$.

Kata kunci — *engraving*, CNC laser *cutting*, *design of experiment*, *simplex centroid design*, optimasi respon.

Abstract — This article presents research related to the optimization of setup level composition in the engraving process of CNC laser cutting machine G-Weike LC6090 type on acrylic material. This research is needed because there is no tabulation reference for engraving process setup level on the machine, so the process setup only based on estimates. This raises problems related to the quality of process results, machining efficiency, and laser-producing CO₂ tube lifetime. This article shows optimizing results of the optimal setup level composition for engraving using Design of Experiment (DoE) with Simplex Centroid Design (SCD) method and multi-response optimization. The composition setup factor in this study is speed rate, power, and laser feeding interval. The multi response parameters measured are process time, depth, and roughness. Mathematical formulation model will be generated from each response parameter, then response optimizing is based on desired depth. The results shows there is a trade off on the multi-response parameters, and optimal composition level setup is obtained for the limit depth (p) $0.3 \text{ mm} \geq p \leq 1.34 \text{ mm}$.

Keywords — engraving, CNC laser cutting, design of experiment, simplex centroid design, response optimization.

I. PENDAHULUAN

Penelitian ini berawal dari sebuah permasalahan mesin laser *cutting* tipe G-Weike LC6090 yang tidak memiliki tabulasi standar operasional level *setup* untuk proses permesinan *cutting* dan *engraving* material. Hal ini menyebabkan *setup* proses

permesinan *cutting* maupun *engraving* yang dilakukan hanya berdasarkan asumsi atau perkiraan saja yang berujung pada *trial error* proses, sehingga produk hasil proses sering kali menjadi kurang berkualitas dan proses permesinan menjadi kurang efisien yang kemudian dapat berdampak pada masa pakai (*life time*) dari tabung CO₂ laser.

Proses *cutting* adalah proses memotong material, sedangkan proses *engraving* adalah proses mengukir atau juga dikenal menggrafir dengan tujuan mengurangi permukaan material dengan membuat profil. Tingkat penggunaan mesin ini relatif rutin, sehingga perlu penanganan dalam hal peningkatan efisiensi penggunaan mesin dan *life time* dari tabung CO₂ penghasil energi laser di dalam mesin tersebut.

Penelitian ini berfokus pada proses *engraving*, tidak dilakukan sampai dengan proses *cutting*. Hal ini dikarenakan proses *engraving* pada mesin laser *cutting* menggunakan 3 jenis level setup yaitu kecepatan proses (*speed rate*), kekuatan (*power*) laser, dan interval frekuensi pemakanan material. Sedangkan proses *cutting* hanya menggunakan 2 jenis level setup saja yaitu *speed rate* dan *power*. Dari hasil observasi diperoleh bahwa proses *engraving* ternyata merupakan proses yang sering dilakukan dibanding *cutting*, sehingga diperlukan penelitian untuk menentukan level setup yang optimal dari proses *engraving* tersebut dengan tujuan meningkatkan kualitas hasil proses dan efisiensi penggunaan mesin.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Mesin Laser Cutting

Mesin *laser cutting* G-Weike LC6090 dalam penggunaannya dimanfaatkan untuk melakukan proses permesinan *cutting* dan *engraving*. Berdasarkan informasi dari *supplier*, mesin ini mampu memproses beberapa material seperti akrilik, polikarbonat, kayu MDF, *plyboard*, kulit, PCB, dan kertas. Bentuk fisik mesin ini dapat dilihat pada Gambar-1 berikut.



Gambar-1. Mesin Laser Cutting G-Weike LC6090.

Khusus material akrilik pihak *supplier* mesin telah memberikan informasi bahwa ketebalan maksimal untuk proses *cutting* adalah ≤ 10 mm atau 1 cm.

Untuk jenis material lainnya pihak *supplier* tidak memberikan informasi karena belum mengidentifikasi berapa nilai maksimal ketebalan yang mampu diproses *cutting* oleh mesin tersebut. Spesifikasi mesin *laser cutting* tersebut dapat dilihat di Tabel-1.

Tabel-1. Spesifikasi Mesin

Spesifikasi Mesin	
Merk	G-Weike
Tipe	Laser cutting LC6090
Voltase	220V
Power mesin	≤ 1.500 W
Power laser	80W
Dimensi (m)	1,360 x 1,090 x 1,070
Serial mesin	24037
Tanggal pabrikan	16 Maret 2018

B. Design of Experiment

Design of Experiment (DoE) merupakan metode yang diperkenalkan Sir Ronald Fisher pada tahun 1930. Beberapa metode DoE diantaranya adalah *mixture design*, *response surface*, *factorial design*, *taguchi*, *screening design*, dan *grey relational analysis*. Metode DoE terdiri dari faktor, level, dan respon [1]. Faktor merupakan *input* dari suatu proses diklasifikasikan sebagai bentuk variabel-variabel yang dapat dikontrol ataupun tidak terkontrol. Faktor tersebut berupa variabel yang terkontrol yang merupakan bentuk *input* fisik yang dapat diberikan pengaturan. Level merupakan pengaturan dari setiap faktor yang dilakukan di dalam suatu penelitian, artinya level ini berupa *treatment* dari faktor-faktor yang ada. Penelitian dengan menggunakan DOE akan semakin rumit apabila sistem yang dioptimasi menggunakan banyak faktor dan level. Respon merupakan bentuk *output* dari suatu proses berupa proporsi komponen yang berbeda dalam campuran, respon tersebut dapat berupa kualitas ataupun kinerja suatu produk berdasarkan beberapa kriteria tergantung dari proporsi dari komponennya. Respon sendiri terbagi menjadi dua yaitu respon tunggal dan banyak atau biasa disebut multi respon [2].

Penelitian ini menggunakan DoE berbasis *mixture design*. *Mixture design* adalah metode eksperimen yang mengkombinasikan beberapa komponen untuk mengetahui respon optimal berdasarkan persamaan matematis yang dihasilkan. Kombinasi tersebut berupa faktor-faktor independen yang memiliki proporsi jumlah berbeda dari suatu campuran. *Mixture design* memiliki beberapa metode yang digunakan untuk mengoptimalkan kombinasi

komponen sehingga nilai optimum respon dapat tercapai. Metode optimasi di dalamnya diantaranya adalah *simplex lattice design*, *simplex centroid design*, dan *extreme vertices*.

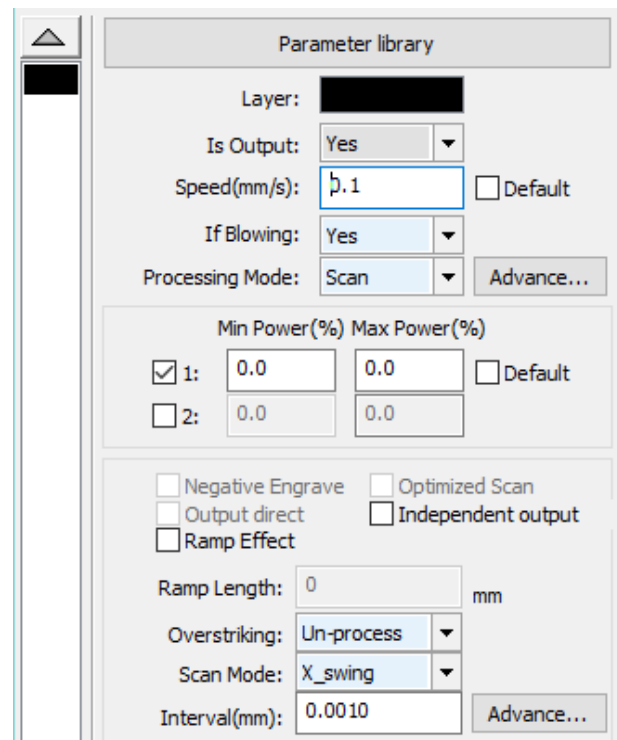
C. Studi Penelitian

Penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya terkait permesinan laser *cutting* untuk proses *cutting* dan *engraving* di dalam menentukan level *setup* optimal mesin dan menguji tingkat akurasi hasil proses. Penelitian yang telah dilakukan menggunakan metode *Grey Relational Analysis* di dalam menentukan level *setup* optimal untuk proses *cutting* mesin laser *cutting* menggunakan material *polymethyl methacrylate* (PMMA) berketebalan 6 mm. Hasil dari penelitian tersebut diperoleh bahwa *flow rate* gas CO₂ penghasil laser mempengaruhi *power* laser dalam proses *cutting* [3]. Penelitian berikutnya dilakukan menggunakan metode *Response Surface* dan *Grey Relational Analysis* dalam menentukan level *setup* optimal untuk proses *cutting* material komposit Al6061 – SiCp – Al₂O₃. Hasil penelitian tersebut diketahui bahwa *power laser*, *cutting velocity*, *gas pressure*, dan *pulsing frequency* dapat mempengaruhi respon hasil proses material [4]. Kedua penelitian tersebut telah menggunakan metode optimasi berbasis *Design of Experiment* (DoE) seperti *Response Surface* dan *Grey Relational Analysis*, namun pemanfaatannya secara spesifik ditujukan untuk menentukan level *setup* pada proses *cutting* dari mesin laser saja.

Terdapat penelitian tentang proses *engraving*, yaitu mesin laser *cutting* menggunakan material kayu. Namun penelitian tersebut tidak dijelaskan secara spesifik metode yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak semua kayu dapat diproses *engraving*, tergantung dari struktur kayu yang digunakan karena terkait dengan kerataan permukaan. Kemudian kedalaman dipengaruhi oleh *power* dari laser, sementara meningkatkan *speed rate* akan mengurangi tingkat kedalaman [5]. Penelitian selanjutnya dilakukan untuk menentukan level *setup* optimal mesin laser *cutting* untuk proses *marking* atau *engraving* menggunakan material *stainless steel* dan metode optimasi *Response Surface*. Hasil penelitian ini diketahui bahwa dengan meningkatkan *power* laser akan berdampak pada tingginya tingkat panas dan meningkatkan lebar dan dalam *engraving*, kemudian dengan meningkatkan *speed rate* proses akan menurunkan lebar dan dalam hasil *engraving* karena tingkat panas menurun [6].

Untuk proses *cutting* material menggunakan CNC laser *cutting*, penelitian yang telah dilakukan adalah menggunakan teknik DoE dalam melakukan optimasi [7], selanjutnya penelitian menggunakan DoE untuk menentukan komposisi faktor optimal dalam proses *cutting* berdasarkan parameter multi respon [8]. Terkait parameter multi respon tersebut beberapa penelitian telah ditujukan untuk material plat logam (*metal sheet*) [9], logam yang lebih spesifik berjenis *stainless steel* [10], dan bahkan lebih spesifik lagi berdasarkan ketebalan *stainless steel* tersebut [11]. Selain logam, material lain dalam penelitian terkait optimasi proses *cutting* adalah kayu [12], plastik polimer [13], bahan polimer yang lebih spesifik yaitu polikarbonat [14], dan bahkan material komposit seperti Al6061/SiCp/Al₂O₃ [15].

Beberapa penelitian dalam pemanfaatan metode *Simplex Centroid Design* (SCD) dalam optimasi suatu komposisi faktor atau komponen telah dilakukan namun dengan objek yang berbeda. Metode SCD telah digunakan untuk menentukan komposisi optimal bahan campuran pembuatan kompos limbah rumah tangga [15], campuran optimal bahan adsorben keramik untuk menghilangkan komponen pencemar pada air [16], campuran komposisi optimal multi media filter pada IPAL [2], dan teknik optimal dalam meningkatkan produksi bakteri dalam proses fermentasi [17].



Gambar-2. Level Setup.

D. Faktor-Faktor yang Berpengaruh

Dari hasil tinjauan pustaka terkait studi penelitian terhadap proses optimasi level setup untuk cutting dan engraving mesin laser cutting, wawancara dengan pihak supplier dan operator mesin laser cutting G-Weike LC6090, serta observasi secara langsung dari penggunaan mesin laser cutting tersebut, diketahui bahwa faktor-faktor yang berpengaruh terhadap hasil proses engraving adalah kecepatan proses permesinan (speed rate) mesin, kekuatan (power) laser, dan interval frekuensi pemakanan material. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar-2.

III. METODE

Metode dalam penelitian ini ditujukan untuk menentukan model matematis dengan range level setup yang telah ditentukan menggunakan metode SCD dan menentukan level setup optimal menggunakan metode optimasi respon. Adapun hal-hal yang dipersiapkan dan langkah-langkah yang dilakukan dijabarkan pada sub bab berikut.

A. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan, yaitu software, alat kerja, alat ukur, dan material. Software yang digunakan adalah software CAD (Computer Aid Design), software CAM (Computer Aid Machine) yaitu RDWorks V.8, dan software optimasi. Alat kerja yang digunakan adalah mesin CNC laser cutting tipe G-Weike LC6090 dan mesin potong raw material. Alat ukur yang digunakan memiliki tingkat presisi tinggi diantaranya adalah measuring tape dengan zero hook, digital vernier caliper dengan tingkat resolusi 0,01 mm, roughness meter, dan stopwatch. Material yang digunakan adalah akrilik bening dengan tingkat ketebalan ± 3 mm dan ± 9 mm masing-masing berukuran A4.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini dimulai dari proses pengambilan data berdasarkan desain komposisi range level setup. Range level setup yang digunakan berdasarkan hasil wawancara dengan supplier dan operator mesin, serta observasi langsung dari penggunaan mesin tersebut selama ini, seperti pada Tabel-2.

Range level setup tersebut kemudian akan dipergunakan sebagai nilai input desain komposisi uji

menggunakan metode Simplex Centroid Design (SCD). Metode SCD ini digunakan untuk menghasilkan komposisi uji berdasarkan kombinasi tingkat speed rate, power, dan interval dari mesin untuk proses engraving terhadap material akrilik. Range level setup dengan menggunakan metode SCD selanjutnya akan dikonversi ke nilai rentang 1 – 12 agar memiliki satuan yang sama seperti pada Tabel-3.

Tabel-2. Range Level Setup

Faktor	Unit	Min	Max
Speed	mm/s	1	500
Power	%	15	30
Interval	mm	0,05	0,1

Tabel-3. Konversi Range Level Setup

Faktor	Min	Max
Speed	1	12
Power	1	12
Interval	1	12

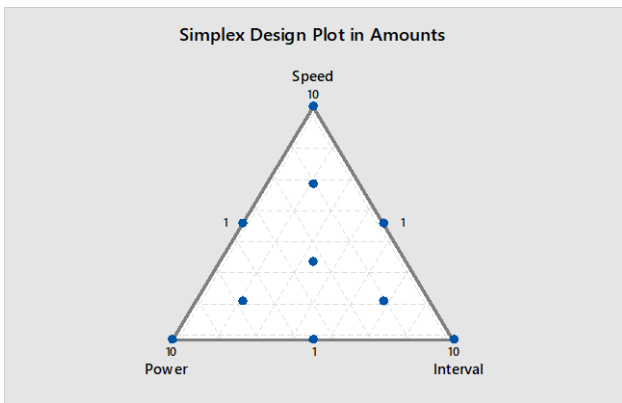
Hal-hal yang perlu diketahui dalam menggunakan metode SCD adalah pada penentuan nilai komposisi semua level harus memiliki rentang nilai yang sama dengan batas 100% atau dalam penelitian ini nilai rentang maksimum adalah 12 untuk setiap sampel uji komposisinya. Langkah selanjutnya adalah menentukan kombinasi komposisi uji menggunakan bantuan software seperti pada Tabel-4.

Tabel-4. Komposisi Uji

Sampel Uji	Speed Rate	Power	Interval
Y1	10	1	1
Y2	1	10	1
Y3	1	1	10
Y4	5,5	5,5	1
Y5	5,5	1	5,5
Y6	1	5,5	5,5
Y7	4	4	4
Y8	7	2,5	2,5
Y9	2,5	7	2,5
Y10	2,5	2,5	7

Simplex design plot dari komposisi Tabel-4 dapat dilihat pada Gambar-3.

Setelah diperoleh sampel komposisi uji maka tahap selanjutnya adalah melakukan konversi balik menjadi komposisi yang telah memiliki satuan seperti pada Tabel-5.



Gambar-3 Simplex Design Plot.

Tabel-5. Konversi Komposisi Uji

Sampel Uji	Speed Rate (mm/s)	Power (%)	Interval (mm)
Y1	500	15	0,05
Y2	1	30	0,05
Y3	1	15	0,1
Y4	275,45	23,25	0,05
Y5	275,45	15	0,0775
Y6	1	23,25	0,0775
Y7	200,6	21	0,07
Y8	350,3	18,75	0,0625
Y9	125,75	25,5	0,0625
Y10	125,75	18,75	0,085

Selanjutnya komposisi terkonversi tersebut akan diaplikasikan ke mesin laser *cutting* untuk diproses *engraving* menggunakan material akrilik berketebalan ± 9 mm. Proses implementasi setiap sampel komposisi adalah dengan membuat profil di media akrilik dengan luasan 15 mm x 15 mm untuk tiap sampel uji komposisinya.

Parameter respon yang digunakan dalam penelitian ini adalah waktu proses, kedalaman (*depth*), dan tingkat kekasaran (*roughness*). Penilaian tingkat *roughness* diskala konversi seperti pada Tabel-6 berikut.

Tabel-6. Tingkat *Roughness*

Tingkat	Nilai
Halus	3
Normal	2
Kasar	1

Hasil *output engraving* tiap komposisi akan diuji menggunakan alat ukur untuk diuji berdasarkan parameter-parameter yang telah ditetapkan dan selanjutnya akan ditentukan model matematisnya. Adapun formulasi model matematis dari penggunaan

metode SCD menggunakan konstruksi model *special cubic* seperti di bawah ini.

$$Z = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_1X_2 + eX_1X_3 + fX_2X_3 + gX_1X_2X_3 \quad (1)$$

Dimana :

Variabel $X_1 = \text{Speed Rate}$

Variabel $X_2 = \text{Power}$

Variabel $X_3 = \text{Interval}$

a = nilai X_1

b = nilai X_2

c = nilai X_3

d = nilai korelasi linier variabel X_1 dan X_2

e = nilai korelasi linier variabel X_1 dan X_3

f = nilai korelasi linier variabel X_2 dan X_3

g = nilai korelasi linier variabel $X_1, X_2,$ dan X_3

Setelah diketahui model matematis maka dilanjutkan dengan proses optimasi level *setup* berdasarkan *depth* yang diinginkan menggunakan metode optimasi respon (*response optimizer*). Proses ini diakhiri dengan hasil komposisi optimal dari level *setup* faktor *speed rate, power,* dan interval mesin laser *cutting* untuk proses *engraving*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

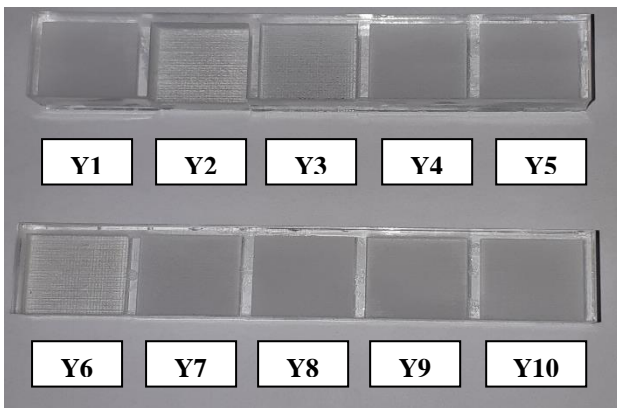
A. Uji Komposisi

Hasil pengujian dari setiap sampel kombinasi komposisi menggunakan alat-alat ukur dapat dilihat pada Tabel-7 di bawah.

Tabel-7. Hasil Uji Komposisi

Sampel Uji	Waktu Proses (s)	Depth (mm)	Roughness
Y1	111	0,15	3
Y2	229	3,99	1
Y3	104	0,87	2
Y4	72	0,24	3
Y5	47	0,11	3
Y6	148	1,6	1
Y7	45	0,24	3
Y8	68	0,16	3
Y9	50	0,45	2
Y10	36	0,15	3

Hasil dokumentasi fisik untuk setiap pengujian yang berdasarkan sampel uji dapat dilihat pada Gambar-4.



Gambar-4. Hasil Pengujian Sampel.

B. Formulasi Model Matematis

Menggunakan bantuan *software* maka dapat diketahui model matematis yang dihasilkan menggunakan konstruksi model *special cubic* adalah sebagai berikut.

Model matematis waktu proses:

$$Z = 15,1396X_1 + 24,0318X_2 + 9,1396X_3 - 3,4512X_1X_2 - 1,3569X_1X_3 + 0,1044X_2X_3 - 1,4568X_1X_2X_3 \quad (2)$$

Model matematis *depth*:

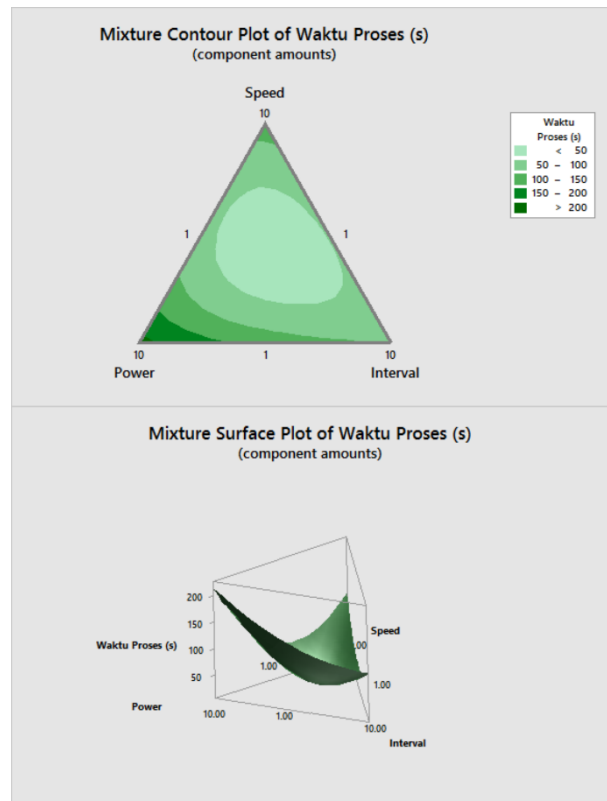
$$Z = 0,075513X_1 + 0,488375X_2 + 0,089554X_3 - 0,081654X_1X_2 - 0,005762X_1X_3 + 0,037007X_2X_3 - 0,010472X_1X_2X_3 \quad (3)$$

Model matematis *roughness*:

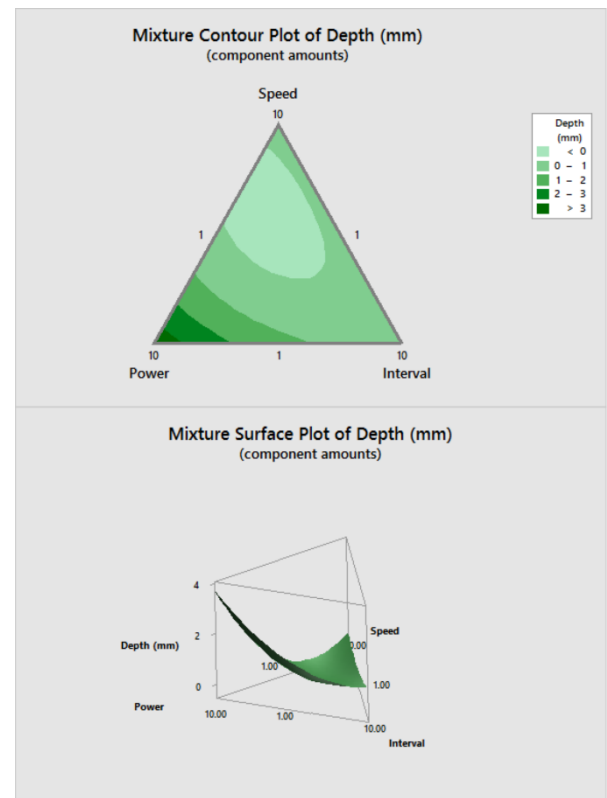
$$Z = 0,217X_1 + 0,052316X_2 + 0,203832X_3 + 0,024097X_1X_2 + 0,003895X_1X_3 - 0,043243X_2X_3 - 0,02178X_1X_2X_3 \quad (4)$$

Hasil model matematis tersebut kemudian dapat dibentuk menjadi sebuah kontur plot yang dapat menggambarkan bentuk linier pergerakan respon parameter waktu proses, *depth*, dan *roughness* berdasarkan sampel komposisi uji. Kontur plot dari waktu proses dapat dilihat pada Gambar-5.

Kontur plot dari waktu proses pada Gambar-5 menunjukkan bahwa semakin rendahnya waktu proses dipengaruhi oleh besarnya nilai level *speed rate* dan interval, serta kecilnya level *power*. Kontur plot tersebut juga menunjukkan bahwa semakin tingginya waktu proses dipengaruhi oleh besarnya nilai level *power* dan interval, serta kecilnya level *speed rate*. Kontur plot dari *depth* dapat dilihat pada Gambar-6.



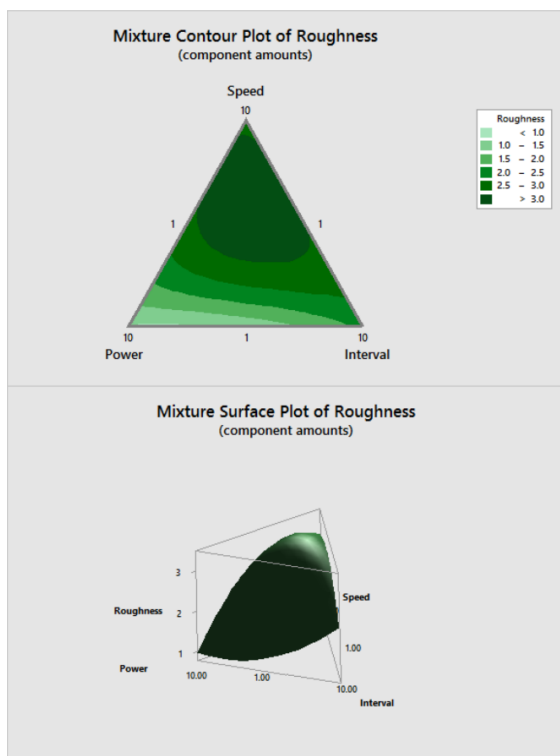
Gambar-5. Kontur Plot Waktu Proses.



Gambar-6. Kontur Plot *Depth*.

Kontur plot dari *depth* pada Gambar-6 menunjukkan bahwa semakin kecil *depth* dipengaruhi oleh besarnya nilai level *speed rate* dan interval, serta kecilnya level *power*. Kontur plot tersebut juga menunjukkan bahwa semakin besarnya *depth* dipengaruhi oleh besarnya nilai level *power* dan interval, serta kecilnya level *speed rate*.

Pemanfaatan bantuan *software* optimasi dapat menggambarkan visualisasi pergerakan parameter respon berdasarkan hasil pengujian komposisi dari level *setup* komponen dalam bentuk kontur plot 2D maupun 3D. Selanjutnya setelah diperoleh kontur plot dari setiap parameter respon maka dapat dilakukan optimasi respon. Kontur plot dari *roughness* dapat dilihat pada Gambar-7 berikut.



Gambar-7. Kontur Plot *Roughness*.

Kontur plot dari *roughness* pada Gambar-7 menunjukkan bahwa semakin kecil *roughness* dipengaruhi oleh besarnya nilai level *power* dan interval, serta kecilnya level *speed rate*. Kontur plot tersebut juga menunjukkan bahwa semakin besarnya *roughness* dipengaruhi oleh besarnya nilai level *speed rate* dan interval, serta kecilnya level *power*.

C. Optimasi Komposisi

Tahapan selanjutnya adalah melakukan proses optimasi komposisi untuk menentukan komposisi

optimal berdasarkan kedalaman atau *depth engraving*. *Depth* yang digunakan adalah 0,3 mm – 2 mm untuk kemudian akan ditentukan komposisi level *setup* optimalnya dari faktor *speed rate*, *power*, dan interval. Untuk *depth* sebesar 0,3 mm dapat kita lihat pada Gambar-8 berikut.

Response	Goal	Lower	Target	Upper
Waktu Proses (s)	Minimize		36	229
Depth (mm)	Target	0.29	0.3	0.31
Roughness	Maximize	2	3	

Gambar-8. Optimasi Respon *Depth* 0.3 mm.

Gambar-8 menunjukkan proses optimasi respon dari *depth* sebesar 0,3 mm. Adapun proses optimasi tersebut menggunakan formulasi model matematis yang telah dirumuskan sebelumnya, kemudian menggunakan *constraint* seperti pada Gambar-8. Proses optimasi respon dari *depth* dengan *depth* proses serupa seperti Gambar-8 di atas. *Constraint* waktu proses diarahkan untuk minimasi, dikarenakan untuk mencapai *depth* sebesar 0,3 mm diharapkan dapat ditempuh dengan waktu proses yang seminimal mungkin. *Constraint roughness* diarahkan untuk maksimasi, dikarenakan untuk memperoleh *depth* 0,3 mm diharapkan dapat dihasilkan nilai *roughness* yang baik. Hasil optimasi tiap *depth engraving* dapat dilihat pada Tabel-8 berikut.

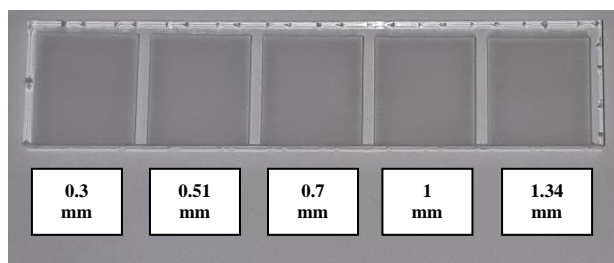
Tabel-8. Optimasi Respon

Depth (p)	Faktor	Level Setup	Parameter Response	Hasil Uji
0.3 mm	Speed Rate	254,1197	Waktu Proses (s)	70,25
	Power	23,72727	Depth (mm)	0,3
	Interval	0,055546	Roughness	2,8
0.5 mm	Speed Rate	225,7426	Waktu Proses (s)	73,72
	Power	24,33513	Depth (mm)	0,51
	Interval	0,056364	Roughness	2,69
0.7 mm	Speed Rate	202,8335	Waktu Proses (s)	78,81
	Power	24,81413	Depth (mm)	0,7
	Interval	0,057062	Roughness	2,58
1 mm	Speed Rate	193,7637	Waktu Proses (s)	96,49
	Power	25,59999	Depth (mm)	1
	Interval	0,055352	Roughness	2,41
2 mm	Speed Rate	173,382	Waktu Proses (s)	110,94
	Power	26,31818	Depth (mm)	1,34
	Interval	0,055	Roughness	2,23

Hasil optimasi respon pada Tabel-8 menunjukkan bahwa untuk mencapai *depth* 0,3 mm diperoleh komposisi level *setup* optimal untuk *speed rate*

sebesar 254,12 mm/s, *power* sebesar 23,73%, dan interval frekuensi pemakanan sebesar 0,055 mm. Hasil optimasi juga menunjukkan *depth* maksimal yang dapat dicapai adalah 1,335 mm dengan komposisi level *setup* optimal untuk *speed rate* sebesar 173,38 mm/s, *power* sebesar 26,32%, dan interval frekuensi pemakanan sebesar 0,055 mm.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa untuk nilai *depth* >1,335 mm tidak ada solusi komposisi level *setup* optimal dari hasil penggunaan metode *simplex centroid design* dan optimasi respon. Maka batasan yang dapat diperoleh solusi komposisi optimalnya adalah $0,3 \text{ mm} \geq p \leq 1,34 \text{ mm}$. Hasil komposisi uji optimal secara fisik dapat dilihat pada Gambar-9 berikut.



Gambar-9. Hasil Uji Komposisi Optimal.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah terdapat *trade off* terkait dengan parameter multi respon, sebagai berikut:

1. Lama waktu proses *engraving* dipengaruhi oleh tingginya nilai level *power* dan interval. Sedangkan pendeknya waktu proses dipengaruhi oleh tingginya nilai level *speed rate* dan interval.
2. Besar *depth* proses *engraving* dipengaruhi oleh tingginya nilai level *power* dan interval. Sedangkan rendahnya *depth* dipengaruhi oleh tingginya nilai level *speed rate* dan interval.
3. Besar *roughness* dipengaruhi oleh tingginya nilai level *speed rate* dan interval. Sedangkan rendahnya nilai *roughness* dipengaruhi oleh tingginya nilai level *power* dan interval.
4. Berdasarkan range level *setup* pada Tabel-3 diketahui bahwa penggunaan metode *Simplex Centroid Design* (SCD) dan optimasi respon berdasarkan nilai *depth* (*p*), solusi komposisi optimal hanya dapat diperoleh pada rentang *depth* $0,3 \text{ mm} \geq p \leq 1,34 \text{ mm}$.

B. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah dapat melakukan optimasi komposisi dengan menggunakan metode lain (*simplex lattice design*, *extreme vertices*, *taguchi*, *screening design*, *1/2 fraction factorial*, *full factorial*, dan *response surface*), kemudian membandingkan formulasi matematis antar metode dengan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan mencari model matematis terbaik dengan nilai *error* terkecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shift. *Memahami dan Mempraktekkan Design of Experiments (DOE)*. www.shiftindonesia.com/memahami-dan-mempraktekkan-design-of-experiments-doe.html. 2013. Waktu akses 1 Desember 2018.
- [2] Wijaya D. K., dan Wibisono M. A. *Optimasi Komposisi Media Filter Instalasi Pengolah Air Limbah Batik Berbasis Multi Media Filter dengan Metode Simplex Centroid Design*. Annual Conference in Industrial and System Engineering (ACISE). 2015; 4: 94-104.
- [3] Chen M. F., Ho Y. S., Hsiao W. T., Wu T. H., Tseng S. F., and Huang K. C. Optimized laser cutting on light guide plates using grey relational analysis. *Optics and Lasers in Engineering*. 2011; 49: 222-228.
- [4] Adalarasan R., Santhanakumar M., and Rajmohan M. Optimization of laser cutting parameters for Al6061/SiCp/Al₂O₃ composite using grey based response surface methodology (GRSM). *Measurement*. 2015; 73: 596-606.
- [5] Leone C., Lopresto V., and Iorio I. D. Wood engraving by Q-switched diode-pumped frequency-doubled Nd:YAG green laser. *Optics and Lasers in Engineering*. 2009; 47: 161-168.
- [6] Roy A., Kumar N, Das S., and Bandyopadhyay A. *Optimization of Pulsed Nd:YVO Laser Marking of AISI 304 Stainless Steel Using Response Surface Methodology*. Materials Today: Proceedings. 2018; 5: 5244-5253.
- [7] Huehnlein K., Tschirpke K., and Hellman R. *Optimization of laser cutting processes using design of experiments*. Physics Procedia. 2010; 5:243-252.
- [8] Dubey A. K. and Yadava V. Multi-objective optimisation of laser beam cutting process. *Optics & Laser Technology*. 2008; 40: 562-570.
- [9] Rodrigues G. C., Vorkov V., and Dufloy J. R. Optimal laser beam configurations for laser cutting of metal sheets. *Procedia CIRP*. 2018; 74: 714-718.
- [10] Parthiban A., Chandrasekaran M., Muthuraman V., and Sathish S. *Optimization of CO₂ Laser Cutting of Stainless Steel Sheet for Curved Profile*. Materials Today. Proceeding. 2018; 5:14531-14538.

- [11] Seon S., Shin J. S., Oh S. Y., Park H., Chung C. M., Kim T. S., Lee L., and Lee J. Improvement of cutting performance for thick stainless steel plates by step-like cutting speed increase in high-power fiber laser cutting. *Optics & Laser Technology*. 2018; 103: 311-317.
- [12] Eltawahni H. A., Rossini N. S., Dassisti M., Alrashed K., Aldaham T. A., Benyounis K. Y., and Olabi A.G. Evaluation and optimization of laser cutting parameters for plywood materials. *Optics and Lasers in Engineering*. 2013; 51: 1029-1043.
- [13] Choudhury I. A., and Shirley S. Laser cutting of polymeric materials: An experimental investigation. *Optics & Laser Technology*. 2010; 42: 503-508.
- [14] Moradi M., Mehrabi O., Azdast T., and Benyounis K.Y. Enhancement of low power CO laser cutting process for injection molded polycarbonate. *Optics & Laser Technology*. 2017; 96: 208-218.
- [15] Abdullah N. and Chin N.L Simplex Centroid Mixture Formulation for Optimised Composting of Kitchen Waste. *Bioresource Technology*. 2010: 8205-8210.
- [16] Chen R., Zhang Z., Feng C., Hu K., Li M., Li Y., Shimizu K., Chen N., and Sugiura N. Application of Simplex Centroid Mixture Design In Developing and Optimizing Ceramic Adsorbent for As(V) Removal from Water Solution. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2010; 131: 115-221.
- [17] Dias F.F.G., Castro R.J.S.D., Ohara A., Nishide T.G., Bagagli M.P., and Sato H.H. Simplex Centroid Mixture Design To Improve L-Asparaginase Production In Solid State Fermentation Using Agroindustrial Waste. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2015; 4:528-534.

