

OPTIMASI PARAMETER MESIN *LASER TUBE CUTTING* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE RESPON SURFACE

Achmad Fajar Ferdinand¹, Farizi Rachman^{1*}, Fipka Bisono¹

¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

*Email: farizirachman@ppns.ac.id

Abstrak

Industri manufaktur modern menuntut peningkatan kualitas produk dan efisiensi proses produksi, termasuk pada proses pemotongan material logam. Mesin CNC *Laser Tube Cutting* 5000 TRUMPF banyak digunakan di berbagai sektor industri karena kemampuannya menghasilkan potongan presisi dengan kecepatan tinggi serta konsistensi hasil. Meski demikian, permasalahan berupa tingginya kekasaran permukaan dan deviasi dimensi pada pemotongan *mild steel* masih sering terjadi, sehingga berdampak pada meningkatnya jumlah produk cacat, waktu pengerjaan ulang, dan biaya produksi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kombinasi parameter pemotongan yang optimal guna meminimalkan kekasaran permukaan sekaligus meningkatkan keakuratan dimensi hasil potong. Metode yang digunakan adalah *Response Surface Methodology* (RSM) dengan desain *Box-Behnken*, melibatkan tiga parameter bebas, yaitu titik fokus sinar laser, tekanan gas, dan daya laser. Sebanyak 30 sampel diuji menggunakan variasi parameter yang telah dirancang secara sistematis, kemudian data dianalisis menggunakan ANOVA untuk mengevaluasi signifikansi pengaruh dan besarnya kontribusi setiap parameter. Hasil penelitian menunjukkan kombinasi optimal pada titik fokus 0 mm, tekanan gas 0,50 bar, dan daya laser 1800 W. Untuk kekasaran permukaan, titik fokus memberikan pengaruh paling signifikan (*P-value* 0,002; kontribusi 54%), diikuti tekanan gas (7%) dan daya laser (3%). Sedangkan pada keakuratan dimensi, kontribusi terbesar berasal dari tekanan gas (6,9%), disusul daya laser (2,2%) dan titik fokus (0,69%).

Kata kunci: keakuratan dimensi, kekasaran permukaan, *laser tube cutting*, *mild steel*, *response surface methodology*

Abstract

The modern manufacturing industry demands improved product quality and production efficiency, including metal cutting processes. The CNC *Laser Tube Cutting* 5000 TRUMPF machine is widely utilized across various industrial sectors due to its ability to produce high-precision cuts at high speed with consistent results. However, issues such as high surface roughness and dimensional deviations in *mild steel* cutting are still frequently encountered, leading to increased defective products, rework time, and production costs. This study aims to determine the optimal combination of cutting parameters to minimize surface roughness and improve the dimensional accuracy of the cut. The applied method is *Response Surface Methodology* (RSM) with a *Box-Behnken* design, involving three independent parameters: laser focal point, gas pressure, and laser power. A total of 30 samples were tested using systematically designed parameter variations, and the experimental data were analyzed using ANOVA to evaluate the significance and contribution of each parameter. The results show that the optimal combination is achieved at a focal point of 0 mm, gas pressure of 0.50 bar, and laser power of 1800 W. For surface roughness, the focal point had the most significant effect (*P-value* = 0.002; 54% contribution), followed by gas pressure (7%) and laser power (3%). For dimensional accuracy, the highest contribution came from gas pressure (6.9%), followed by laser power (2.2%) and focal point (0.69%).

Keywords: dimensional accuracy, *laser tube cutting*, *mild steel*, *response surface methodology*, surface roughness

PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur modern menuntut peningkatan efisiensi dan kualitas produk secara simultan, khususnya pada sektor fabrikasi logam seperti *sheet metal* dan jasa pemotongan pipa (Mukhtar & Febryanto, 2023). Salah satu teknologi pemrosesan yang terus dikembangkan adalah pemotongan laser, karena mampu menghasilkan potongan presisi tinggi pada berbagai material logam dengan permukaan yang lebih halus dibanding metode konvensional (Purwanti, 2012). Mesin *Laser Tube Cutting* TRUMPF 5000 merupakan salah satu peralatan yang digunakan untuk proses ini, namun masih ditemukan kendala kualitas berupa tingginya tingkat kekasaran dan deviasi dimensi hasil potong, sebagaimana terjadi di PT Dempo Laser Metalindo yang mencatat >50% produk tidak memenuhi standar (Nugroho et al., 2018).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan optimasi parameter proses seperti titik fokus sinar laser, tekanan gas, jarak *cutting head*, dan daya laser. Penelitian ini menggunakan pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan desain *Box-Behnken*, yang dikenal efektif dalam mengevaluasi dan memodelkan hubungan antar variabel proses secara efisien (Ferreira et al., 2007). Tujuan utama penelitian adalah memperoleh parameter optimal guna meminimalkan kekasaran permukaan dan meningkatkan keakuratan dimensi pada pemotongan material *mild steel*.

TINJAUAN PUSTAKA

(A) Material dan Parameter

Mild steel St 37 merupakan baja karbon rendah tipe austenitik yang memiliki kemampuan pemotongan dan pengelasan yang baik serta ketahanan terhadap korosi atmosfer. Material ini memiliki kekuatan luluh minimum sebesar 235 MPa dan elongasi minimum sekitar 20%. Kandungan unsur kimianya mencakup karbon maksimal 0,17% dan fosfor maksimal 0,045%, yang menjadikannya cocok untuk aplikasi pemrosesan dengan mesin pemotong presisi. Komposisi dari material ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi ST 37

Kelas	C	Si	Mn	S	P
ST 37	0,17	0,10 - 0,35	0,35 - 0,80	0,045	0,045

Parameter pemotongan pada mesin CNC *Laser TruLaser Tube* 5000 terbagi menjadi dua, yakni parameter tetap dan parameter yang dapat diatur ulang. Parameter yang dapat disesuaikan berperan penting dalam menentukan kualitas hasil potongan, terutama dalam menurunkan kekasaran permukaan dan meningkatkan efisiensi proses. Titik fokus sinar laser sangat memengaruhi kualitas potong. Fokus yang terlalu dalam dapat menyebabkan dimensi menyusut dan permukaan kasar akibat pelelehan berlebih, sementara fokus yang terlalu jauh membuat pemotongan tidak sempurna karena kurangnya panas. Penyesuaian fokus dapat dilakukan di atas (positif) atau di bawah (negatif) permukaan material, tergantung jenis dan ketebalannya. Tekanan gas *cutting* berfungsi mengalirkan lelehan hasil pemotongan agar tidak menempel pada produk. Tekanan yang tidak sesuai dapat meninggalkan sisa material, sehingga dibutuhkan pengaturan yang tepat sesuai dengan karakteristik material yang diproses. Daya laser menentukan kemampuan penetrasi terhadap material dan memengaruhi kecepatan

pemotongan. Daya yang optimal mampu memproses berbagai jenis logam dengan cepat dan efisien, serta memberikan hasil potong yang presisi dan rapi.

(B) *Response Surface Methodology*

Response Surface Methodology (RSM) merupakan metode statistik dan matematis yang digunakan untuk menganalisis dan mengoptimalkan proses dengan banyak variabel. Pendekatan ini bertujuan membentuk model prediktif yang menggambarkan hubungan antara variabel bebas dan respon yang diamati. RSM digunakan untuk menentukan kombinasi parameter optimal secara efisien, khususnya dalam sistem kompleks yang memerlukan tingkat akurasi tinggi. Dalam penggunaannya, metode ini memodelkan respon Y sebagai fungsi dari beberapa variabel bebas $X_1, X_2, \dots, X_k$, yang diasumsikan berpengaruh langsung terhadap output sistem. Meskipun efektif dalam memperoleh solusi optimal, RSM memerlukan sumber daya dan waktu yang lebih besar karena kompleksitas desain eksperimen yang digunakan.

Rancangan eksperimen dalam *Response Surface Methodology* (RSM) disesuaikan dengan bentuk model yang digunakan, baik orde satu maupun orde dua. Model orde satu dapat dianalisis menggunakan rancangan faktorial 2^k yang melibatkan dua level setiap faktor dan jumlah percobaan minimal. Namun, untuk keperluan optimasi dengan model orde dua yang memerlukan identifikasi interaksi dan efek kuadratik antar variabel, dibutuhkan pendekatan yang lebih komprehensif seperti *Central Composite Design* (CCD) atau *Box-Behnken Design* (BBD). Penelitian ini menggunakan BBD karena lebih efisien dan tidak memerlukan titik aksial, sehingga jumlah eksperimen lebih sedikit tanpa mengorbankan akurasi model. Desain ini dikembangkan dari kombinasi faktorial 2^k dan *incomplete block design* dengan tambahan titik pusat untuk memastikan kestabilan hasil prediksi (Montgomery, 2013). Terkait parameter dan level uji disajikan pada Tabel 2, sedangkan struktur rancangan eksperimen ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Nilai Faktor dan Level yang Digunakan

Level	Titik Fokus Sinar Laser	Gas Pressure	Laser Power
Level 1	0 mm	0,5 bar	1800 W
Level 2	1,5 mm	0,75 bar	2200 W
Level 3	3 mm	1 bar	2600 W

Tabel 3. Variabel Pelaksanaan Eksperimen

No	Titik Fokus Sinar Laser	Gas Pressure	Laser Power
1	0,0	0,50	2200
2	1,5	1,00	1800
3	3,0	0,50	2200
4	3,0	0,75	2600
5	1,5	0,75	2200
6	3,0	0,75	1800
7	1,5	0,75	2200
8	0,0	0,75	1800
9	1,5	0,50	2600
10	1,5	0,75	2200

11	0,0	0,75	2600
12	3,0	1,00	2200
13	1,5	1,00	2600

Penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah berupa kekasaran permukaan hasil pemotongan yang berpengaruh terhadap mutu produk akhir. Fokus utama penelitian adalah memperoleh kombinasi parameter proses yang optimal agar permukaan potong menjadi lebih halus dan sesuai standar kualitas. Parameter yang ditetapkan sebagai variabel bebas meliputi titik fokus laser, tekanan gas, jarak *nozzle*, dan daya laser, sedangkan kekasaran permukaan (*Ra*) digunakan sebagai variabel respon yang diukur. Setiap parameter diuji dalam tiga level variasi untuk memperoleh informasi yang cukup dalam memodelkan hubungan antar variabel. Pemilihan rancangan eksperimen didasarkan pada perhitungan derajat kebebasan untuk menyusun desain yang sesuai dengan pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM). Seluruh kombinasi faktor dan level disusun dalam bentuk matriks *Box-Behnken*, di mana setiap baris merepresentasikan kondisi eksperimen tertentu. Metode RSM ini memungkinkan analisis yang efisien dan mendalam terhadap pengaruh masing-masing parameter terhadap kekasaran permukaan, serta mampu menghasilkan model prediktif untuk menentukan kondisi optimal secara akurat.

METODE

Penelitian ini menerapkan analisis statistik eksperimental menggunakan RSM, dengan persamaan regresi kuadratik sebagai model pemodelan. Hubungan antara variabel bebas $X_1, X_2, \dots, X_k$ dan variabel respon Y secara umum dituliskan sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \dots \dots \dots (1)$$

Di mana:

- Y : respon (kekasaran permukaan)
- X_i : variabel bebas
- β : koefisien regresi
- ε : error residual

Data pengukuran kekasaran permukaan dikumpulkan menggunakan *Surface Roughness Tester* Mitutoyo SJ-301, sedangkan keakuratan dimensi diukur menggunakan Kaliper Digital. Analisis statistik dilakukan melalui *software* Minitab, dengan pengujian model menggunakan ANOVA untuk mengevaluasi signifikansi parameter. Uji asumsi residual juga dilakukan untuk memastikan model memenuhi syarat kenormalan, independensi, dan identik. Uji *Lack of Fit* digunakan untuk mengetahui kecocokan model terhadap data nyata, dan koefisien determinasi R^2 digunakan untuk mengukur kekuatan model prediksi.

Optimasi dilakukan dengan fitur *Response Optimizer* pada Minitab, yang memberikan rekomendasi nilai parameter terbaik berdasarkan target respon yang ditentukan. Validasi hasil dilakukan melalui eksperimen konfirmasi untuk membandingkan nilai prediksi dengan hasil aktual.

HASIL DAN PEMBAHASAN

(A) Hasil Penelitian

Pada penelitian ini tahap pengambilan data yang dilakukan adalah data kekasaran permukaan. Selanjutnya tahap pengolahan data diawali dengan perhitungan rata-rata dari kedua replikasi, pengukuran pada material *mild steel* menggunakan alat *Surface Roughness Tester* untuk mengukur kekasaran permukaan material. Tabel 4 di bawah ini merupakan data kekasaran permukaan pada variabel respon.

Tabel 4. Hasil Eksperimen Nilai Kekasaran Permukaan

Eksperimen	Variabel Bebas			Replikasi		Rata Rata	Standar Deviasi
	Titik Fokus	Tekanan Gas	Daya Laser	N 1	N 2		
1	0,0	0,50	2200	1,187	1,309	1,248	± 0,086
2	1,5	1,00	1800	3,407	3,905	3,656	± 0,352
3	3,0	0,50	2200	3,366	3,532	3,449	± 0,117
4	3,0	0,75	2600	4,630	4,488	4,559	± 0,100
5	1,5	0,75	2200	3,887	3,719	3,803	± 0,119
6	3,0	0,75	1800	2,036	2,716	2,376	± 0,481
7	1,5	0,75	2200	3,993	4,005	3,999	± 0,008
8	0,0	0,75	1800	2,059	1,729	1,894	± 0,233
9	1,5	0,50	2600	3,042	2,786	2,914	± 0,181
10	1,5	0,75	2200	3,953	3,347	3,650	± 0,429
11	0,0	0,75	2600	1,294	1,512	1,403	± 0,154
12	3,0	1,00	2200	3,998	4,492	4,245	± 0,349
13	1,5	1,00	2600	3,919	3,631	3,775	± 0,204
14	1,5	0,50	1800	2,363	2,211	2,287	± 0,107
15	0,0	1,00	2200	1,346	1,766	1,556	± 0,297

(B) Analisis Data Kekasaran Permukaan

(1) Pengujian Kesesuaian Model Keakuratan Dimensi

Dari Tabel 4 dapat digunakan untuk menguji kesaran permukaan, yaitu dengan pengujian kesesuaian model. Untuk mendapatkan kesesuaian model tersebut dilakukan dengan uji berikut ini:

a. Uji *Lack of Fit* dan *Surface Regression*

Rata-rata hasil pengukuran kekasaran permukaan dari percobaan dianalisis menggunakan perangkat lunak Minitab. Analisis awal dilakukan melalui uji *lack of fit* untuk mengevaluasi kesesuaian antara model dugaan dengan model sebenarnya (Purwanti, 2013). Dalam penelitian ini digunakan tingkat kepercayaan 0,05 dengan hipotesis sebagai berikut: $H_0: P < \alpha$, menunjukkan tidak terdapat *lack of fit* pada model, dan $H_1: P \geq \alpha$, menunjukkan adanya *lack of fit*.

Berdasarkan hasil dari Minitab, diperoleh nilai *P-value* yang lebih besar daripada α , sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil ANOVA Kekasaran Permukaan

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	0,001437	0,000479	0,12	0,945
Titik Fokus	1	0,000313	0,000313	0,08	0,783
Tekanan Gas	1	0,000112	0,000112	0,03	0,869
Daya Laser	1	0,001012	0,001012	0,26	0,622
Error	11	0,043302	0,003937		
Lack-of-Fit	9	0,042286	0,004698	9,24	0,101
Pure Error	2	0,001017	0,000508		
Total	14	0,044740			

b. Pengujian Koefisien Determinasi Berganda (R^2)

Hasil uji koefisien determinan berganda dengan hasil perhitungannya sebagai berikut:

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} \times 100\%$$

$$R^2 = \frac{0,001437}{0,044740} \times 100\%$$

$$R^2 = 3,21\%$$

Pada perhitungan di atas menunjukkan bahwa pada penelitian ini persentase nilai koefisien determinasi berganda (R^2) adalah sebesar 3,21% yang artinya, model ini kurang baik karena nilai persentase ini semakin jauh dari 100%. Dimana 3,21% dipengaruhi oleh variabel dalam model ini dan 96,79 % dipengaruhi oleh variabel di luar model.

(2) Pengujian Koefisien Regresi Kekasaran Permukaan

a. Pengujian Koefisien Regresi Secara Serentak

Hipotesis yang digunakan pada pengujian koefisien regresi secara simultan adalah:

- H_0 : Tidak terdapat parameter yang berpengaruh signifikan terhadap keakuratan dimensi.
- H_1 : Terdapat setidaknya satu parameter yang berpengaruh signifikan terhadap keakuratan dimensi.

Nilai pengujian diperoleh dari *P-value* hasil perhitungan menggunakan perangkat lunak Minitab, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Regression Kekasaran Permukaan

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	0,001437	0,000479	0,12	0,945

Jika $P\text{-value} < \alpha$, maka H_0 ditolak. Sebaliknya, jika $P\text{-value} > \alpha$, maka H_0 diterima. Pada Tabel 6, $P\text{-value}$ sebesar 0,945, sedangkan $\alpha = 0,05$. Karena $P\text{-value} > \alpha$, H_0 diterima dan H_1 ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada parameter yang memengaruhi keakuratan dimensi.

b. Pengujian Koefisien Regresi Secara Individual

Hipotesis yang digunakan pada pengujian koefisien regresi secara individu adalah sebagai berikut:

- H0: Tidak ada parameter yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.
- H1: Terdapat parameter yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan.

Nilai pengujian yang digunakan adalah nilai *P-value* yang didapat dari minitab pada Tabel 7 berikut:

Tabel 7. Regresi Individual

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Titik Fokus	1	0,000313	0,000313	0,08	0,783
Tekanan Gas	1	0,000112	0,000112	0,03	0,869
Daya Laser	1	0,001012	0,001012	0,26	0,622

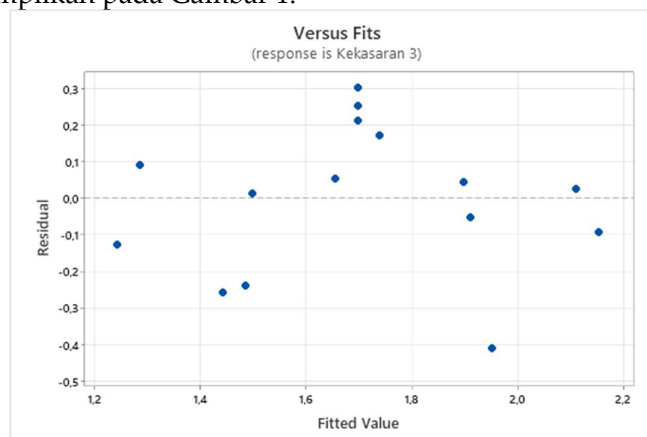
Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa hanya titik fokus sinar laser yang berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan ($P\text{-value} = 0,002 < 0,05$), sehingga H_0 ditolak. Tekanan gas ($P\text{-value} = 0,158$) dan daya laser ($P\text{-value} = 0,348$) tidak berpengaruh signifikan, sehingga H_0 pada kedua faktor tersebut tidak dapat ditolak. Dengan demikian, variasi tekanan gas dan daya laser pada rentang pengujian tidak memengaruhi kekasaran permukaan secara nyata.

(3) Pengujian Asumsi Residual Kekasaran Permukaan

Pengujian asumsi residual pada respon keakuratan dimensi dilakukan untuk memverifikasi bahwa model regresi yang digunakan telah memenuhi asumsi-asumsi dasar dalam analisis.

a. Uji Asumsi Identik

Uji asumsi identik (homoskedastisitas) dilakukan untuk memastikan *varians* residual konstan pada setiap nilai prediksi. Pengujian dilakukan melalui plot residual terhadap nilai estimasi; penyebaran titik yang acak tanpa pola menunjukkan bahwa residual kekasaran permukaan bersifat identik, seperti ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Uji Asumsi Identik

Berdasarkan grafik *residual versus fitted value*, titik residual menyebar acak di sekitar garis nol tanpa pola sistematis, sehingga asumsi kenormalan dan

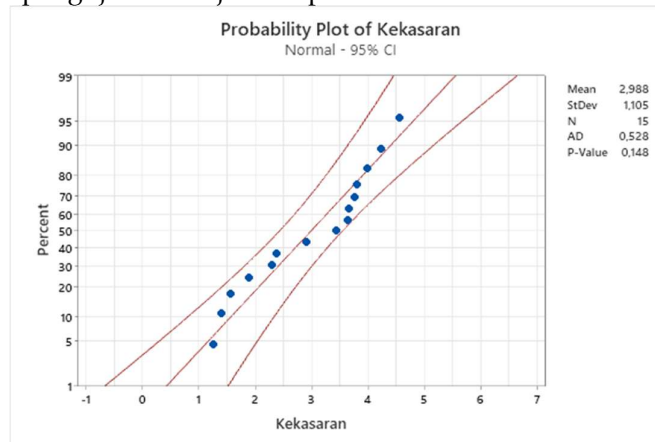
keseragaman *varians* terpenuhi. Hal ini menunjukkan model regresi valid dan tidak terdapat indikasi heteroskedastisitas yang signifikan.

b. Uji Distribusi Normal

Uji distribusi normal dilakukan untuk mengevaluasi apakah residual model regresi berdistribusi normal, menggunakan uji *Kolmogorov–Smirnov* dengan hipotesis:

- H_0 : Residual berdistribusi normal.
- H_1 : Residual tidak berdistribusi normal.

Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 2.

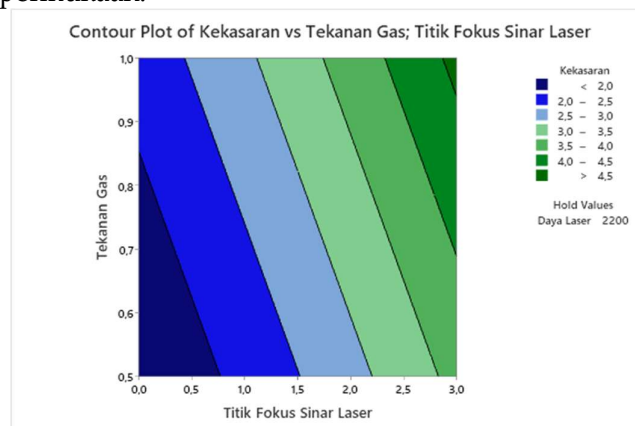


Gambar 2. Hasil Uji Distribusi Normal

Berdasarkan Gambar 1, uji *Kolmogorov–Smirnov* menghasilkan *P-value* 0,148 $> \alpha$, sehingga H_0 diterima dan residual dinyatakan berdistribusi normal.

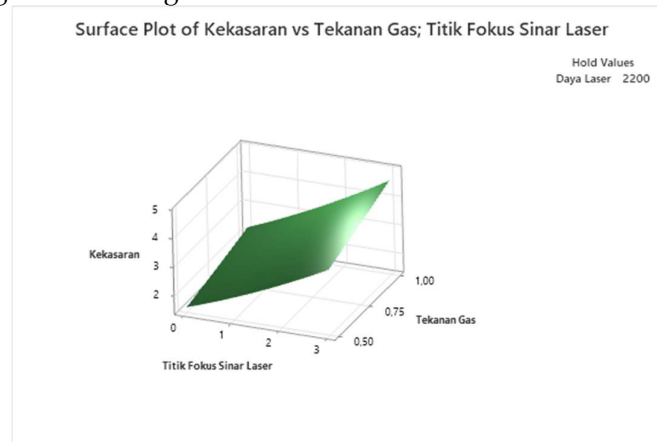
(4) *Contour* dan *Surface Plot* Kekasaran Permukaan

Respon divisualisasikan dalam bentuk grafik 2D (*contour plot*) maupun 3D (*surface plot*) untuk menggambarkan pola hubungan antar parameter. *Contour plot* menampilkan variasi warna dan garis kontur sesuai perbedaan parameter, sedangkan *surface plot* merupakan proyeksi 3D dari *contour plot*. Gambar 3 berikut menunjukkan hasil visualisasi pada masing-masing parameter terhadap kekasaran permukaan.



Gambar 3. Hasil Visualisasi pada Masing-Masing Parameter Terhadap Kekasaran Permukaan

Contour plot pada Gambar 3 menunjukkan hubungan antara titik fokus sinar laser dan tekanan gas terhadap kekasaran permukaan, dengan daya laser dijaga konstan pada 2200 W. Nilai kekasaran terendah ($< 2 \mu\text{m}$) terdapat pada kombinasi titik fokus sekitar 0–0,5 mm dengan tekanan gas 0,5–0,8 MPa, yang ditunjukkan oleh area berwarna biru tua. Sementara itu, peningkatan titik fokus di atas 2,5 mm dan tekanan gas mendekati 1,0 MPa menghasilkan kekasaran tertinggi ($> 4,5 \mu\text{m}$), ditandai dengan area berwarna hijau tua. Pola kontur yang miring menunjukkan bahwa titik fokus memiliki pengaruh dominan terhadap perubahan kekasaran dibandingkan tekanan gas.

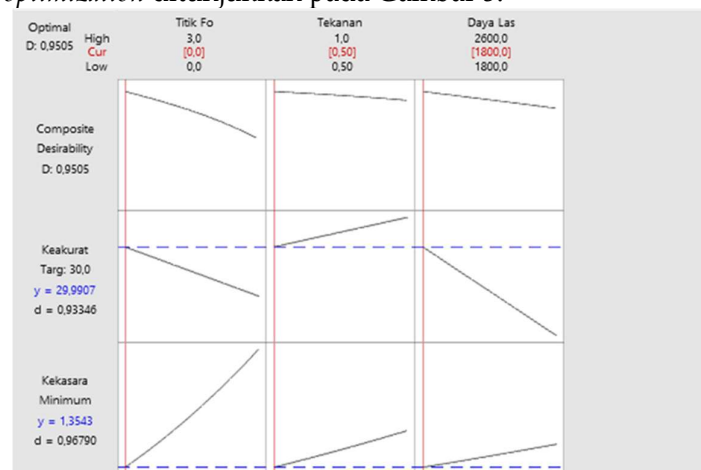


Gambar 4. *Surface Plot*

Surface plot pada Gambar 4 menunjukkan bahwa pada daya laser 2200 W, kekasaran terendah diperoleh pada titik fokus 0–0,5 mm dan tekanan gas 0,5 bar. Kekasaran meningkat seiring bertambahnya kedua parameter, dengan kemiringan lebih curam pada arah titik fokus, menandakan pengaruhnya lebih dominan dibandingkan tekanan gas.

(5) Optimasi Respon

Kombinasi level variabel proses yang menghasilkan respon optimal ditentukan menggunakan *optimization plot* pada Minitab dengan pendekatan *desirability*. Hasil *response optimization* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil *Response Optimization*

Berdasarkan hasil optimasi respon, Kondisi optimal diperoleh pada kombinasi parameter titik fokus sinar laser 0 mm, tekanan gas 0,50 bar, dan daya laser 1800 W, dengan hasil keakuratan dimensi sebesar 29,9907 dan kekasaran permukaan 1,3543 μm .

KESIMPULAN

Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa dalam proses pemotongan laser, terdapat parameter yang berpengaruh terhadap respon kekasaran permukaan. Penelitian ini menggunakan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Dengan nilai α tersebut, pada respon kekasaran permukaan hanya parameter titik fokus sinar laser yang berpengaruh signifikan dengan *P-value* sebesar 0,002. Sementara itu, parameter tekanan gas dan daya laser memiliki *P-value* masing-masing sebesar 0,158 dan 0,348, sehingga dinyatakan tidak berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa variasi tekanan gas dan daya laser pada rentang pengujian tidak memberikan pengaruh nyata terhadap respon.

Konfigurasi parameter yang optimum pada proses pemotongan laser adalah titik fokus sinar laser sebesar 0 mm, tekanan gas sebesar 0,50 bar, dan daya laser sebesar 1800 W, yang menghasilkan keakuratan dimensi sebesar 29,9907 mm dan kekasaran permukaan sebesar 1,3543 μm .

REFERENSI

- Ferreira, A. et al. (2007). Optimization of Surface Roughness Using Box-Behnken Design in Laser Cutting Processes. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29(4), 456-467.
- Montgomery, D. C. (2013). Design and Analysis of Experiments. Wiley.
- Mukhtar, A., & Febryanto, R. (2023). Tren Industri Manufaktur dan Pengaruhnya Terhadap Kualitas Produk. *Jurnal Rekayasa Produksi*, 21(3), 89-97.
- Nugroho, H. et al. (2018). Analisis Optimasi Parameter Pemotongan Laser pada Material Baja Karbon. *Jurnal Teknik Manufaktur*, 10(2), 72-81.
- Purwanti, S. (2012). Analisis Pemotongan Laser pada Berbagai Material dengan Variasi Gas Cutting. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, 11(1), 35-42.
- Purwanti, E.P. dan Pilarian, F. (2013). Optimasi parameter proses pemotongan stainless steel SUS 304 untuk kekasaran permukaan dengan metode response surface. *Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika*, 74-88. Yogyakarta: FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta. ISBN 978-979-16353-9-4.