

ANALISIS PERBANDINGAN PENGARUH JENIS GAS ASISTENSI OKSIGEN DAN NITROGEN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN HASIL PEMOTONGAN PADA MESIN *LASER* *CUTTING* CNC

¹Mochammad Aswin Yusril, ²Fatkur Rohman

¹⁻² Teknik Mesin, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ¹mochammadaswin893@gmail.com, ²fatkurrohman@unpkediri.ac.id

Penulis Korespondens : Mochammad Aswin Yusril

Abstrak— Pengaruh jenis gas asistensi dan ketebalan material terhadap kekasaran permukaan (R_a) pada proses pemotongan menggunakan mesin laser CNC. Gas asistensi yang digunakan adalah oksigen (O_2) dan nitrogen (N_2), sedangkan ketebalan material yang diuji yaitu 1 mm, 3 mm, dan 4 mm. Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan desain faktorial 2×3 dan dianalisis menggunakan ANOVA One Way serta ANOVA Two Way. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan material berpengaruh signifikan terhadap nilai R_a , di mana semakin tebal material maka kekasaran permukaan cenderung meningkat. Jenis gas asistensi juga memengaruhi kualitas permukaan, dengan nitrogen (N_2) menghasilkan permukaan yang lebih halus dibandingkan oksigen (O_2). Selain itu, terdapat interaksi antara jenis gas dan ketebalan material terhadap nilai R_a , sehingga pemilihan kombinasi parameter yang tepat sangat penting untuk memperoleh kualitas pemotongan yang optimal.

Kata Kunci— ANOVA; Gas Asistensi; Kekasaran Permukaan (R_a); Ketebalan Material; Laser Cutting.

Abstract— *This study investigates the effect of assist gas type and material thickness on surface roughness (R_a) in CNC laser cutting processes. The assist gases used were oxygen (O_2) and nitrogen (N_2), while the material thicknesses tested were 1 mm, 3 mm, and 4 mm. An experimental method with a 2×3 factorial design was employed, and the data were analyzed using One-Way ANOVA and Two-Way ANOVA. The results indicated that material thickness had a significant effect on the R_a value, with increasing thickness tending to increase surface roughness. The type of assist gas also affected surface quality, with nitrogen (N_2) producing smoother surfaces than oxygen (O_2). Furthermore, a significant interaction between assist gas type and material thickness on R_a was observed, indicating that selecting an appropriate combination of parameters is essential for achieving optimal cutting quality.*

Keywords— ANOVA; Assist Gas; Surface Roughness (R_a); Material Thickness; Laser Cutting.

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Gas asistensi memiliki peran penting dalam proses pemotongan laser. Fungsinya tidak sekadar untuk menghembuskan material cair dari celah potongan, melainkan juga untuk mengatur reaksi panas yang tercipta antara sinar laser dan bahan. Pemilihan jenis gas yang digunakan sebagai bantuan menjadi aspek penting karena berpengaruh langsung terhadap cara pemotongan, kecepatan pemotongan, lebar potong, zona terdampak panas *heat affected zone* (HAZ), serta kualitas permukaan hasil pemotongan. Secara umum, terdapat dua mekanisme pemotongan utama yang dipengaruhi oleh jenis gas asistensi: *reactive cutting* menggunakan Oksigen (O₂), dan *fusion cutting* menggunakan Nitrogen (N₂).

Gas Oksigen (O₂) digunakan dalam proses *reactive cutting*, di mana terjadi reaksi kimia antara oksigen dengan logam dasar yang bersifat eksotermik. Reaksi ini ($\text{Fe} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{FeO} + \Delta H$) menghasilkan energi panas tambahan yang membantu proses pemotongan. Dengan adanya panas tambahan tersebut, laser dapat memotong material lebih cepat dan mampu menembus material yang lebih tebal dengan daya laser yang relatif rendah. Namun, penggunaan O₂ memiliki konsekuensi terhadap kualitas permukaan potong, karena reaksi oksidasi tersebut meninggalkan lapisan oksida pada tepi potong dan meningkatkan kekasaran akibat turbulensi termal serta pembentukan kerak oksida[1].

Nitrogen (N₂), di sisi lain, digunakan dalam proses *inert cutting* atau *fusion cutting*. Sebagai gas *inert*, ($\text{Fe} + \text{N}_2 \rightarrow \text{Fe} + \Delta H$) Nitrogen tidak bereaksi secara kimia dengan material. Fungsinya murni mekanis: menggunakan tekanan yang sangat tinggi (seringkali 10-20 kali lebih tinggi dari tekanan Oksigen) untuk meniup material yang sepenuhnya dilelehkan oleh energi laser. Karena tidak ada panas tambahan dari reaksi eksotermik, proses ini membutuhkan daya laser yang lebih tinggi dan cenderung lebih lambat. Namun, keuntungannya sangat signifikan: hasil potongan bebas oksida (*oxide-free*), cerah (*bright finish*), dan siap untuk proses selanjutnya seperti pengelasan atau pengecatan tanpa perlu *post-processing* (pembersihan)[2].

Selain jenis gas asistensi, ketebalan material juga merupakan salah satu faktor yang memengaruhi kualitas hasil pemotongan laser, khususnya terhadap nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*/Ra). Material dengan ketebalan yang berbeda memerlukan distribusi energi dan karakteristik pelepasan material yang berbeda pula. Pada material yang lebih tebal, proses pelelehan dan pembuangan material menjadi lebih kompleks sehingga berpotensi meningkatkan kekasaran permukaan hasil pemotongan. Parameter seperti daya laser, kecepatan potong, dan gas asistensi diketahui memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kualitas permukaan hasil pemotongan dan nilai kekasaran permukaan[3].

Penggunaan gas Oksigen (O₂) pada proses laser cutting bekerja melalui mekanisme *reactive cutting*, yaitu adanya reaksi eksotermik antara oksigen dan material logam yang menghasilkan tambahan energi panas sehingga proses pemotongan berlangsung lebih efektif. Sebaliknya, gas Nitrogen (N₂) bersifat inert dan bekerja melalui mekanisme *fusion cutting*, sehingga menghasilkan tepi potong yang lebih bersih dan bebas oksidasi. Namun, pengaruh kedua jenis gas tersebut terhadap nilai kekasaran permukaan tidak selalu konsisten dan sangat dipengaruhi oleh parameter pemotongan yang digunakan.

Kualitas hasil pemotongan laser tidak hanya dipengaruhi oleh jenis gas asistensi, tetapi juga oleh kombinasi parameter proses lainnya seperti daya laser, kecepatan pemotongan, tekanan gas asistensi, posisi fokus, dan ketebalan material. Variasi parameter tersebut dapat memengaruhi karakteristik hasil pemotongan berupa kekasaran permukaan, lebar kerf, serta kualitas tepi potong yang dihasilkan. Oleh karena itu, optimasi parameter proses menjadi faktor penting untuk memperoleh kualitas hasil pemotongan yang sesuai dengan kebutuhan industri manufaktur

modern. Penelitian dengan berjudul "*Optimization of laser cutting parameters for improved surface quality in AISI 304 stainless steel*" menunjukkan bahwa perubahan parameter pemotongan laser memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan dan kualitas kerf pada material stainless steel[4]. Penelitian lain dengan judul "*Effects of cutting power, speed and assist gas pressure parameters on the surface integrity cut by laser*" juga diketahui bahwa tekanan gas asistensi dan kecepatan pemotongan merupakan faktor dominan yang memengaruhi kualitas permukaan hasil pemotongan laser[5].

Meskipun berbagai penelitian mengenai parameter proses laser cutting telah banyak dilakukan, kajian mengenai pengaruh jenis gas asistensi Oksigen (O₂) dan Nitrogen (N₂) pada variasi ketebalan material 1 mm, 3 mm, dan 4 mm terhadap nilai kekasaran permukaan (Ra) masih terbatas. Selain itu, analisis mengenai pengaruh masing-masing faktor serta interaksi keduanya menggunakan metode *Analysis of Variance* (ANOVA) masih belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang lebih mendalam untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai pengaruh jenis gas asistensi dan ketebalan material terhadap kualitas permukaan hasil pemotongan laser.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jenis gas asistensi Oksigen (O₂) dan Nitrogen (N₂) serta variasi ketebalan material 1 mm, 3 mm, dan 4 mm terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan pada mesin Laser Cutting CNC. Analisis dilakukan menggunakan ANOVA One Way untuk mengetahui pengaruh ketebalan material terhadap nilai kekasaran permukaan pada masing-masing jenis gas, serta ANOVA Two Way untuk menganalisis pengaruh jenis gas, ketebalan material, dan interaksi antara keduanya terhadap nilai kekasaran permukaan (Ra). Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam menentukan parameter pemotongan yang optimal sehingga diperoleh kualitas permukaan yang baik dan efisiensi proses yang lebih tinggi.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis pengaruh jenis gas asistensi dan ketebalan material terhadap kekasaran permukaan (*surface roughness*, Ra) hasil pemotongan menggunakan mesin Laser Cutting CNC. Penelitian menerapkan Design of Experiments (DoE) dengan desain faktorial 2 × 3 yang terdiri atas dua jenis gas asistensi, yaitu Oksigen (O₂) dan Nitrogen (N₂), serta tiga variasi ketebalan material, yaitu 1 mm, 3 mm, dan 4 mm. Desain faktorial dipilih karena memungkinkan pengamatan pengaruh masing-masing faktor dan interaksi antar faktor secara simultan, sehingga lebih efisien dibandingkan pendekatan satu faktor pada satu waktu (*one factor at a time*). Selain itu, desain faktorial mampu menghasilkan informasi yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara variabel bebas dan variabel respon dalam suatu eksperimen[6].

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja ASTM A36 dengan variasi ketebalan 1 mm, 3 mm, dan 4 mm. Proses pemotongan dilakukan menggunakan mesin Fiber Laser Cutting CNC tipe 3015DH-3000W dengan daya laser sebesar 3000 W. Parameter pemotongan selain jenis gas asistensi dan ketebalan material dijaga tetap agar pengaruh kedua variabel bebas terhadap nilai kekasaran permukaan dapat diamati secara lebih akurat. Setiap kombinasi perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk meningkatkan reliabilitas data hasil pengujian, sedangkan nilai kekasaran permukaan yang digunakan sebagai respons penelitian diperoleh dari rata-rata hasil pengukuran pada setiap spesimen[7].

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis gas asistensi yang terdiri atas Oksigen (O₂) dan Nitrogen (N₂), serta variasi ketebalan material 1 mm, 3 mm, dan 4 mm. Variabel terikat yang diamati adalah nilai kekasaran permukaan (surface roughness, Ra) hasil pemotongan laser, sedangkan parameter pemotongan lainnya dijaga tetap selama proses eksperimen untuk meminimalkan pengaruh faktor luar terhadap hasil pengujian.

Prosedur penelitian diawali dengan persiapan alat dan bahan, kemudian dilanjutkan dengan proses pemotongan spesimen menggunakan mesin Fiber Laser Cutting CNC sesuai dengan kombinasi perlakuan yang telah ditentukan. Setelah proses pemotongan selesai, setiap spesimen diuji menggunakan Surface Roughness Tester untuk memperoleh nilai kekasaran permukaan. Selanjutnya, data hasil pengujian diolah menggunakan perangkat lunak IBM SPSS dan dianalisis secara statistik untuk menentukan pengaruh jenis gas asistensi dan ketebalan material terhadap nilai kekasaran permukaan.

Tabel 1. Parameter Penelitian

Jenis Gas Asistensi	Ketebalan Material (mm)
Material	Baja ASTM A36
Daya laser	3000 W
Jenis gas asistensi	O ₂ dan N ₂
Ketebalan material	1 mm, 3 mm, 4 mm
Jumlah pengulangan	3 kali
Respon pengujian	Kekasaran permukaan (Ra)

Rancangan penelitian menggunakan desain faktorial 2 × 3 dengan dua faktor perlakuan, yaitu jenis gas asistensi yang terdiri atas Oksigen (O₂) dan Nitrogen (N₂), serta variasi ketebalan material yang terdiri atas 1 mm, 3 mm, dan 4 mm. Setiap kombinasi perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan sehingga diperoleh data yang lebih representatif dan tingkat kepercayaan hasil pengujian menjadi lebih tinggi[6].

Tabel 2. Desain eksperimen faktorial 2 × 3

Jenis Gas Asistensi	Ketebalan material (mm)	Pengulangan
Nitrogen (N ₂)	1	3
Nitrogen (N ₂)	3	3
Nitrogen (N ₂)	4	3
Oksigen (O ₂)	1	3
Oksigen (O ₂)	3	3
Oksigen (O ₂)	4	3



Gambar 1. Mesin *Laser Cutting* CNC



Gambar 2. Alat *Surface Roughness Tester*

Tahapan penelitian diawali dengan persiapan alat dan bahan, dilanjutkan dengan proses pemotongan spesimen sesuai variasi perlakuan yang telah ditentukan. Selanjutnya dilakukan pengujian kekasaran permukaan menggunakan *Surface Roughness Tester* untuk memperoleh nilai kekasaran permukaan rata-rata dari setiap spesimen. Data hasil pengukuran kemudian dianalisis secara deskriptif dan statistik menggunakan perangkat lunak IBM SPSS. Sebelum dilakukan pengujian hipotesis, data terlebih dahulu diuji melalui uji normalitas, homogenitas, dan linieritas untuk memastikan bahwa data memenuhi asumsi analisis parametrik. Uji *One Way Analysis of Variance (One Way ANOVA)* digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi ketebalan material terhadap nilai kekasaran permukaan pada masing-masing jenis gas asistensi. Pengambilan keputusan dilakukan pada tingkat signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$), di mana nilai signifikansi yang lebih kecil dari 0,05 menunjukkan bahwa variasi ketebalan material memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variabel respon[8].

Selanjutnya, *Two Way Analysis of Variance (Two Way ANOVA)* digunakan untuk menganalisis pengaruh jenis gas asistensi, ketebalan material, serta interaksi antara kedua faktor tersebut terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a). Analisis ANOVA banyak diterapkan dalam penelitian manufaktur karena mampu mengevaluasi pengaruh faktor utama (*main effect*) dan interaksi antarparameter proses secara simultan[9].

Untuk mempermudah pelaksanaan penelitian, tahapan penelitian secara keseluruhan disajikan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) yang meliputi persiapan alat dan bahan, proses pemotongan spesimen menggunakan mesin Laser Cutting CNC, pengujian kekasaran permukaan menggunakan *Surface Roughness Tester*, pengolahan data menggunakan IBM SPSS, serta analisis dan penarikan kesimpulan. Penyajian diagram alir penelitian diperlukan untuk menggambarkan urutan pelaksanaan eksperimen secara sistematis dan memudahkan interpretasi proses penelitian[10].



Gambar 3. Diagram Alir

Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur, kemudian dilanjutkan dengan persiapan alat dan bahan berupa baja ASTM A36 dengan ketebalan 1 mm, 3 mm, dan 4 mm serta penggunaan gas asistensi Oksigen (O₂) dan Nitrogen (N₂). Proses pemotongan dilakukan menggunakan mesin *Fiber Laser Cutting* CNC, sedangkan pengukuran kekasaran permukaan dilakukan menggunakan *Surface Roughness Tester*. Data hasil pengujian kemudian diolah menggunakan IBM SPSS melalui uji prasyarat, analisis *One Way* ANOVA, dan *Two Way* ANOVA untuk mengetahui pengaruh jenis gas asistensi, ketebalan material, serta interaksi keduanya terhadap nilai kekasaran permukaan (Ra). Hasil pengukuran disajikan dalam bentuk tabel dan dianalisis secara deskriptif maupun statistik untuk memperoleh kesimpulan penelitian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

1. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan

Data penelitian diperoleh dari hasil pengukuran tingkat kekasaran permukaan (*surface roughness*) pada spesimen baja ASTM A36 yang dipotong menggunakan mesin *Fiber Laser Cutting* CNC dengan dua jenis gas asistensi, yaitu Nitrogen (N₂) dan Oksigen (O₂). Variasi ketebalan material yang digunakan meliputi 1 mm, 3 mm, dan 4 mm. Setiap kombinasi perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali pengukuran untuk memperoleh nilai rata-rata yang representatif.

Hasil pengukuran rata-rata kekasaran permukaan (Ra) untuk masing-masing variasi jenis gas asistensi dan ketebalan material disajikan pada Tabel 3. Pada penggunaan gas Nitrogen (N₂), nilai rata-rata kekasaran permukaan yang diperoleh pada ketebalan 1 mm, 3 mm, dan 4 mm berturut-turut sebesar 2,32 μm , 1,70 μm , dan 4,05 μm . Sementara itu, pada penggunaan gas Oksigen (O₂), nilai rata-rata kekasaran permukaan yang diperoleh sebesar 0,14 μm , 0,25 μm , dan 0,44 μm untuk ketebalan material 1 mm, 3 mm, dan 4 mm.

Berdasarkan hasil pengukuran, terlihat bahwa nilai kekasaran permukaan berbeda pada setiap kombinasi perlakuan. Secara umum, penggunaan gas Oksigen (O₂) menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih rendah dibandingkan gas Nitrogen (N₂). Selain itu, peningkatan ketebalan material cenderung diikuti oleh peningkatan nilai kekasaran permukaan. Hal tersebut menunjukkan bahwa jenis gas asistensi dan ketebalan material memberikan pengaruh terhadap kualitas permukaan hasil pemotongan laser.

Tabel 3. Nilai rata-rata kekasaran permukaan (Ra)

Jenis Gas Asistensi	Ketebalan Material (mm)	Rata-rata Ra (μm)
Nitrogen (N ₂)	1	2,32
Nitrogen (N ₂)	3	1,70
Nitrogen (N ₂)	4	4,05
Oksigen (O ₂)	1	0,14
Oksigen (O ₂)	3	0,25
Oksigen (O ₂)	4	0,44

2. Hasil Analisis Statistik

Sebelum dilakukan pengujian hipotesis, data hasil pengukuran kekasaran permukaan terlebih dahulu diuji melalui uji normalitas, homogenitas, dan linieritas untuk mengetahui kesesuaian data terhadap asumsi analisis parametrik. Hasil pengujian prasyarat disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Ringkasan hasil uji prasyarat

Uji Statistik	Nilai Sig.	Kriteria	Kesimpulan
Normalitas N ₂ (Shapiro-Wilk)	0,000	Sig. < 0,05	Tidak normal
Normalitas O ₂ (Shapiro-Wilk)	0,001	Sig. < 0,05	Tidak normal
Homogenitas (Levene)	0,000	Sig. < 0,05	Tidak homogen
Linearity	0,066	Sig. > 0,05	Hubungan linier
Deviation from Linearity	0,021	Sig. < 0,05	Terdapat penyimpangan linieritas

Berdasarkan Tabel 4., hasil uji normalitas menggunakan metode Shapiro-Wilk menunjukkan bahwa data kekasaran permukaan pada penggunaan gas Nitrogen (N₂) dan Oksigen (O₂) memiliki nilai signifikansi kurang dari 0,05, sehingga data tidak berdistribusi normal. Selain itu, hasil uji homogenitas menggunakan uji *Levene* menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 (< 0,05), yang mengindikasikan bahwa varians antar kelompok data tidak homogen. Hasil uji linieritas menunjukkan nilai signifikansi pada komponen *Linearity* sebesar 0,066 (> 0,05), sedangkan nilai *Deviation from Linearity* sebesar 0,021 (< 0,05), sehingga terdapat penyimpangan terhadap hubungan linier antara ketebalan material dan nilai kekasaran permukaan.

Meskipun beberapa asumsi analisis parametrik tidak sepenuhnya terpenuhi, pengujian hipotesis tetap dilakukan menggunakan metode *One Way Analysis of Variance (One Way ANOVA)* dan *Two Way Analysis of Variance (Two Way ANOVA)* untuk mengetahui pengaruh ketebalan material, jenis gas asistensi, serta interaksi antara kedua faktor tersebut terhadap nilai kekasaran permukaan hasil pemotongan laser.

3. Hasil ANOVA

Analisis ANOVA dilakukan untuk mengetahui pengaruh ketebalan material terhadap kekasaran permukaan pada masing-masing jenis gas asistensi serta pengaruh jenis gas asistensi, ketebalan material, dan interaksi keduanya terhadap nilai kekasaran permukaan. Hasil pengujian *One Way ANOVA* dan *Two Way ANOVA* disajikan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Hasil *One Way ANOVA* Pada Kedua Jenis Gas Asistensi

Jenis Gas	F Hitung	Sig.	Keterangan
Nitrogen (N ₂)	450,764	0	Signifikan
Oksigen (O ₂)	1073,582	0	Signifikan

Berdasarkan Tabel 4, hasil *Two Way ANOVA* menunjukkan bahwa jenis gas asistensi dan ketebalan material memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan yang ditunjukkan oleh nilai signifikansi kurang dari 0,05. Selain itu, interaksi antara jenis gas asistensi dan ketebalan material juga menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa kualitas permukaan hasil pemotongan laser tidak hanya dipengaruhi oleh masing-masing faktor secara terpisah, tetapi juga oleh kombinasi antara jenis gas asistensi dan ketebalan material. Dengan demikian, pemilihan parameter pemotongan yang tepat menjadi faktor penting dalam memperoleh kualitas permukaan yang optimal.

Tabel 6. Ringkasan Hasil *Two Way* ANOVA

Sumber Variasi	F Hitung	Sig.	Keterangan
Ketebalan Material	544,074	0	Signifikan
Jenis Gas Asistensi	5234,097	0	Signifikan
Ketebalan × Gas	365,342	0	Signifikan

Berdasarkan hasil *Two Way* ANOVA, faktor jenis gas asistensi memberikan pengaruh paling dominan terhadap nilai kekasaran permukaan yang ditunjukkan oleh nilai F sebesar 5234,097. Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan karakteristik gas asistensi yang digunakan selama proses pemotongan berperan penting dalam menentukan kualitas permukaan hasil potong. Penggunaan gas Oksigen (O₂) menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih rendah dibandingkan Nitrogen (N₂). Hal ini disebabkan oleh reaksi eksotermik antara oksigen dan material selama proses pemotongan yang menghasilkan tambahan energi panas sehingga proses pelelehan material berlangsung lebih efektif dan menghasilkan permukaan potong yang lebih halus.

Selain jenis gas asistensi, ketebalan material juga berpengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan dengan nilai F sebesar 544,074. Semakin besar ketebalan material yang dipotong, semakin besar pula energi yang dibutuhkan untuk menembus material secara sempurna. Kondisi tersebut menyebabkan peningkatan pembentukan striations atau alur pada permukaan potong serta meningkatkan kemungkinan terjadinya ketidakstabilan aliran material cair di daerah pemotongan. Akibatnya, nilai kekasaran permukaan cenderung meningkat seiring bertambahnya ketebalan material.

Hasil pengujian juga menunjukkan adanya interaksi yang signifikan antara jenis gas asistensi dan ketebalan material terhadap nilai kekasaran permukaan dengan nilai F sebesar 365,342. Interaksi tersebut menunjukkan bahwa pengaruh ketebalan material terhadap kekasaran permukaan tidak sama pada setiap jenis gas asistensi. Pada material dengan ketebalan yang lebih besar, perbedaan karakteristik antara gas Oksigen dan Nitrogen menjadi semakin terlihat sehingga menghasilkan kualitas permukaan yang berbeda. Dengan demikian, pemilihan jenis gas asistensi tidak dapat dilakukan secara terpisah dari pertimbangan ketebalan material yang akan dipotong.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi parameter pemotongan memiliki peran penting dalam menentukan kualitas hasil pemotongan laser. Oleh karena itu, pemilihan jenis gas asistensi yang sesuai dengan ketebalan material perlu diperhatikan untuk memperoleh nilai kekasaran permukaan yang optimal dan meningkatkan kualitas produk hasil pemotongan.

B. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan material berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan hasil pemotongan laser CNC. Semakin besar ketebalan material, nilai kekasaran permukaan cenderung meningkat. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya kebutuhan energi untuk melelehkan material sehingga proses pengeluaran material cair menjadi kurang optimal dan menghasilkan permukaan yang lebih kasar. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian dengan berjudul "*Revealing the Enhancement Mechanism of Laser Cutting on the Strength–Ductility Combination in Low Carbon Steel*"[3] yang menyatakan bahwa ketebalan material memengaruhi kualitas permukaan hasil pemotongan laser akibat perubahan distribusi panas selama proses pemotongan.

Berdasarkan hasil *One Way* ANOVA, variasi ketebalan material memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan baik pada penggunaan gas Nitrogen (N₂) maupun Oksigen (O₂). Nilai signifikansi yang diperoleh lebih kecil dari 0,05, sehingga dapat disimpulkan

bahwa perbedaan ketebalan material menghasilkan perbedaan kualitas permukaan yang nyata secara statistik[5].

Selain ketebalan material, jenis gas asistensi juga memengaruhi kekasaran permukaan hasil pemotongan. Penggunaan gas Oksigen (O_2) menghasilkan nilai kekasaran yang lebih rendah dibandingkan Nitrogen (N_2). Hal ini terjadi karena oksigen menghasilkan panas tambahan melalui reaksi eksotermik yang membantu proses pemotongan, sehingga permukaan hasil potong menjadi lebih halus. Temuan ini sesuai dengan penelitian dengan berjudul "*Laser Cutting : A Review on the Influence of*"[1]. Sementara itu, Nitrogen (N_2) bekerja tanpa reaksi kimia sehingga seluruh energi pemotongan hanya berasal dari sinar laser, yang menyebabkan nilai kekasaran permukaan relatif lebih tinggi[2].

Hasil Two Way ANOVA menunjukkan bahwa ketebalan material, jenis gas asistensi, serta interaksi antara keduanya berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan. Dengan demikian, kualitas permukaan hasil pemotongan laser tidak hanya dipengaruhi oleh masing-masing faktor secara terpisah, tetapi juga oleh kombinasi antara jenis gas dan ketebalan material yang digunakan[7].

IV KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa ketebalan material berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan hasil pemotongan laser CNC pada baja ASTM A36. Semakin besar ketebalan material yang digunakan, nilai kekasaran permukaan cenderung meningkat sehingga kualitas permukaan hasil pemotongan menjadi lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa ketebalan material merupakan salah satu faktor yang menentukan kualitas hasil pemotongan. Jenis gas asistensi juga memberikan pengaruh terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan. Penggunaan gas Oksigen (O_2) menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih rendah dibandingkan penggunaan gas Nitrogen (N_2), sehingga kualitas permukaan yang dihasilkan oleh gas Oksigen (O_2) lebih baik pada kondisi parameter pemotongan yang digunakan dalam penelitian ini.

Berdasarkan hasil uji One Way ANOVA, diperoleh bahwa variasi ketebalan material memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan baik pada penggunaan gas Oksigen (O_2) maupun Nitrogen (N_2), yang ditunjukkan oleh nilai signifikansi kurang dari 0,05. Selanjutnya, hasil uji Two Way ANOVA menunjukkan bahwa faktor ketebalan material, jenis gas asistensi, serta interaksi antara kedua faktor tersebut berpengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan hasil pemotongan laser CNC. Secara keseluruhan, kombinasi parameter pemotongan yang digunakan dalam penelitian menunjukkan bahwa penggunaan gas Oksigen (O_2) pada material dengan ketebalan yang lebih rendah menghasilkan kualitas permukaan terbaik, sedangkan peningkatan ketebalan material cenderung menyebabkan peningkatan nilai kekasaran permukaan. Dengan demikian, pemilihan jenis gas asistensi dan ketebalan material yang tepat menjadi faktor penting dalam memperoleh kualitas hasil pemotongan laser CNC yang optimal pada baja ASTM A36.

Dengan memperhatikan hasil penelitian yang diperoleh, dapat dinyatakan bahwa kualitas permukaan hasil pemotongan laser CNC dipengaruhi secara nyata oleh jenis gas asistensi, ketebalan material, serta interaksi antara keduanya. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam menentukan parameter proses pemotongan yang tepat sehingga diperoleh hasil pemotongan dengan kualitas permukaan yang lebih baik, meningkatkan efisiensi proses, serta mengurangi kebutuhan proses finishing pada komponen berbahan baja ASTM A36.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Riveiro, F. Quintero, dan M. Boutinguiza, "Laser Cutting : A Review on the Influence of," *Materials (Basel)*., vol. 12, no. 1, hal. 157, 2019, doi: 10.3390/ma12010157.
- [2] M. Asyraf, M. Ali, I. Azmi, dan M. Z. Mohd, "Analysis of specific cutting energy in laser fusion cutting of an aluminium alloy," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 2022, doi: 10.1088/1757-899X/1235/1/012015.
- [3] J. Chen, F. Tu, P. Wang, dan Y. Cao, "Revealing the Enhancement Mechanism of Laser Cutting on the Strength–Ductility Combination in Low Carbon Steel," *Metals (Basel)*., vol. 14, no. 5, hal. 541, 2024, doi: 10.3390/met14050541.
- [4] E. Nas dan S. Uzuner, "Optimization of laser cutting parameters for improved surface quality in AISI 304 stainless steel," *Gazi J. Eng. Sci.*, vol. 9, no. 3, hal. 654–662, 2023, doi: 10.30855/gmbd.0705096.
- [5] R. P. Zeilmann dan R. D. Conrado, "Effects of cutting power, speed and assist gas pressure parameters on the surface integrity cut by laser," *Procedia Eng.*, vol. 149, hal. 155–162, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2022.03.060.
- [6] P. M. Gupta, V. Surendran, dan R. K. Gunda, "Casting a Spotlight on Factorial Design: Exploring the Power of DoE for Experiment Screening and Optimization: A Review," *Indian J. Pharm. Educ. Res.*, vol. 59, no. 2, hal. s406–s416, 2025, doi: 10.5530/ijper.20257373.
- [7] H. K. Hasan, "Analysis of the effecting parameters on laser cutting process by using response surface methodology (RSM) method," *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.*, vol. 110, no. 2, hal. 59–66, 2022, doi: 10.5604/01.3001.0015.7044.
- [8] S. Kumar, R. Singhc, T. . Singh, dan A. Batish, "On twin screw extrusion parametric optimisation using hybrid approach of ANOVA and TOPSIS for 3D printing applications," *Adv. Mater. Process. Technol.*, vol. 9, no. 1, hal. 152–168, 2023, doi: <https://doi.org/10.1080/2374068X.2022.2087844>.
- [9] M. Alsaadawy, M. Dewidar, A. Said, I. Maher, dan T. A. Shehabeldeen, *A comprehensive review of studying the influence of laser cutting parameters on surface and kerf quality of metals*. Springer London, 2024. doi: 10.1007/s00170-023-12768-1.
- [10] Q. Lu *et al.*, "Experimental research and optimization of Ti-6Al-4V alloy microgroove machining based on waterjet-guided high-power laser," *Materials (Basel)*., vol. 15, no. 21, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/ma15217430>.