

Turnitin LCCX

2213010117_MOCHAMMAD ASWIN YUSRIL.pdf

-  MESIN 03
-  GOD OF RA
-  Konsorsium Turnitin Relawan Jurnal Indonesia

Document Details

Submission ID

trn:oid::1:3605599244

Submission Date

Jul 3, 2026, 3:20 PM GMT+7

Download Date

Jul 3, 2026, 3:22 PM GMT+7

File Name

2213010117_MOCHAMMAD_ASWIN_YUSRIL.pdf

File Size

1.5 MB

47 Pages

10,397 Words

65,916 Characters

11% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text

Top Sources

- 9%  Internet sources
- 6%  Publications
- 3%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 9% Internet sources
- 6% Publications
- 3% Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Publication	Wennie Fransisca, Ramijat Ryachudu Sitorus. "Pengaruh Tea Tree Oil Terhadap K...	<1%
2	Student papers	Fakultas Teknik	<1%
3	Internet	docplayer.info	<1%
4	Internet	123dok.com	<1%
5	Student papers	Universitas Muhammadiyah Purwokerto	<1%
6	Internet	journal.eng.unila.ac.id	<1%
7	Internet	www.coursehero.com	<1%
8	Internet	ejournal.up45.ac.id	<1%
9	Internet	repository.uinbanten.ac.id	<1%
10	Internet	pusat-lingkaran.blogspot.com	<1%
11	Internet	repository.unissula.ac.id	<1%

12	Internet	repository.its.ac.id	<1%
13	Internet	repository.uin-suska.ac.id	<1%
14	Internet	digilib.uns.ac.id	<1%
15	Publication	Mohamad Khoirul Yusfi, Agus Dani. "Rancang Bangun Mesin CNC Milling Mini 3 A...	<1%
16	Internet	repository.unpkediri.ac.id	<1%
17	Internet	pubmed.ncbi.nlm.nih.gov	<1%
18	Internet	futagokarya.com	<1%
19	Internet	core.ac.uk	<1%
20	Internet	journal.uad.ac.id	<1%
21	Internet	repo.usni.ac.id	<1%
22	Internet	repositori.usu.ac.id	<1%
23	Internet	journal.umi.ac.id	<1%
24	Internet	jurnal.unej.ac.id	<1%
25	Internet	ojs.umm metro.ac.id	<1%

26	Internet	www.scribd.com	<1%
27	Internet	www.slideshare.net	<1%
28	Publication	Sabrina Nur Farikha, Noor Aini Habibah. "INDUKSI KALUS KRISAN (Chrysanthemu...	<1%
29	Publication	Sobron Lubis, Heru Budi Kusuma, Alvian Hartanto Widjaya, Harry Wibowo, Richar...	<1%
30	Internet	ejournal.nusamandiri.ac.id	<1%
31	Internet	eprints.uns.ac.id	<1%
32	Internet	eprints.unsri.ac.id	<1%
33	Internet	idr.uin-antasari.ac.id	<1%
34	Internet	whispersfromamyblog.blogspot.com	<1%
35	Internet	www.researchgate.net	<1%

21

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi dalam bidang manufaktur di Indonesia terus melaju dengan cepat seiring dengan inisiatif untuk memperkuat daya saing negara dan mendukung pertumbuhan industri, guna meningkatkan efisiensi dalam produksi serta kualitas dari hasil pemotongan (Sfenrianto et al., 2018). Salah satu bidang yang sangat berpengaruh adalah sektor manufaktur, di mana pemrosesan material menjadi salah satu langkah krusial dalam proses produksi. Contohnya, pemotongan lembaran logam biasanya dilakukan dengan metode tradisional seperti pemotongan plasma atau las, tetapi belakangan ini semakin banyak digunakan mesin *Laser Cutting* CNC yang memberikan kecepatan yang lebih tinggi, ketepatan yang lebih baik, dan tingkat fleksibilitas yang lebih tinggi (Nurwahyudin et al., 2025).

Sebelum teknologi laser diperkenalkan, teknik pemotongan logam umumnya menerapkan metode konvensional seperti memotong menggunakan pisau, memanfaatkan bahan bakar oksigen, atau teknik pemotongan plasma. Meskipun cara-cara ini masih sering digunakan, ada sejumlah kekurangan, termasuk kualitas potongan yang kasar, distorsi yang tinggi akibat panas, serta keterbatasan dalam menciptakan bentuk yang kompleks. Dengan perkembangan teknologi laser, saat ini, proses pemotongan material dapat dilakukan dengan akurasi yang jauh lebih tinggi, pengelolaan panas yang lebih efektif, dan minimnya distorsi panas jika dibandingkan dengan metode pemotongan konvensional, sehingga semakin banyak dimanfaatkan dalam sektor industri (Malinauskas et al., 2016). Pemotongan laser memanfaatkan cahaya laser yang terfokus untuk mencairkan atau menguapkan bahan pada lokasi yang telah dipotong. Salah satu jenis yang paling banyak digunakan saat ini adalah *Fiber Laser Cutting*, yang menawarkan efisiensi energi optimal, masa pakai sumber laser yang lama, serta dapat digunakan pada berbagai macam logam seperti baja karbon, *stainless steel*, dan aluminium.

PT Corin Mulia Gemilang, sebagai salah satu entitas di sektor manufaktur mesin pertanian, telah menerapkan teknologi Pemotongan Laser CNC untuk memenuhi permintaan pasar yang terus berkembang. Implementasi mesin ini memungkinkan

13

26

perusahaan untuk memproduksi bagian-bagian dengan tingkat akurasi yang tinggi serta mengurangi durasi pengerjaan.

Namun, berdasarkan pengamatan di lapangan, terdapat variasi dalam kualitas hasil potongan, terutama terkait dengan kekasaran permukaan (*Surface Roughnes*). Beberapa hasil potongan memiliki tepi yang halus dan berkilau, sementara yang lain tampak lebih kasar dan gelap. Perbedaan ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh jenis gas bantuan yang digunakan selama proses pemotongan, yaitu Oksigen (O_2) dan Nitrogen (N_2). 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 (O_2), dan *fusion cutting* menggunakan Nitrogen (N_2).

Gas Oksigen (O_2) digunakan dalam proses *reactive cutting*, di mana terjadi reaksi kimia antara oksigen dengan logam dasar yang bersifat eksotermik. Reaksi ini ($Fe + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow FeO + \Delta H$) 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 O_2 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 (Riveiro et al., 2019).

Nitrogen (N_2), di sisi lain, digunakan dalam proses *inert cutting* atau *fusion cutting*. Sebagai gas *inert*, ($Fe + N_2 \rightarrow Fe + \Delta H$) 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) (Asyraf et al., 2022).

Masalah utama yang dihadapi oleh PT Corin Mulia Gemilang adalah ketidakadaan data perbandingan yang menjelaskan secara ilmiah dampak berbagai jenis gas asistensi terhadap kualitas potongan, terutama terkait nilai kekasaran permukaan (R_a). Selama ini, penggunaan gas ditentukan oleh operator mesin berdasarkan pengalaman pribadi atau sumber referensi yang umum, alih-alih didasarkan pada hasil eksperimen yang terukur. Situasi ini menimbulkan ketidakkonsistenan dalam hasil pemotongan antara setiap *batch* produksi. Beberapa produk menampilkan tepi potong yang halus dan bersih, sementara yang lain menunjukkan permukaan yang kasar serta warna gelap akibat proses oksidasi, sehingga memerlukan langkah tambahan seperti pengamplasan atau pembersihan sebelum tahap pengelasan dan *finishing*. Selain itu, dari perspektif finansial, penerapan gas Nitrogen pada tekanan tinggi (seringkali melebihi 10 bar) membutuhkan pengeluaran operasional yang lebih banyak dibandingkan dengan Oksigen. Meskipun hasil pemotongan yang dihasilkan lebih halus, sering kali efisiensi biaya menjadi faktor utama yang diperhatikan oleh perusahaan. Oleh karena itu, perlu diadakan penelitian eksperimental yang terstruktur guna menemukan kombinasi parameter pemotongan yang paling tepat antara tipe gas asistensi, tekanan gas, dan kecepatan pemotongan, agar diperoleh hasil potongan dengan kekasaran yang minim dan biaya operasional yang efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis komparatif terhadap dampak dari dua jenis gas asistensi, yaitu Oksigen (O_2) dan Nitrogen (N_2), terhadap kekasaran permukaan produk dari pemotongan menggunakan mesin CNC *Laser Cutting* yang diterapkan di PT Corin Mulia Gemilang. Proses pengujian dilakukan dengan mengatur variabel kecepatan pemotongan serta tekanan gas agar dapat memperoleh data empiris yang tepat. Nilai pengukuran kekasaran (R_a) dianalisis dengan pendekatan statistik untuk memahami hubungan antara parameter dalam proses dan mutu dari hasil pemotongan.

4

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangan ilmiah dan aplikasi yang bermanfaat, yaitu menawarkan landasan ilmiah dalam memilih gas asistensi terbaik berdasarkan kinerja permukaan dan biaya efektivitas. Di samping itu, hasil dari penelitian ini bisa berfungsi sebagai pedoman teknis untuk operator dan manajer produksi di PT Corin Mulia Gemilang dalam menentukan standar operasi untuk mesin *Laser Cutting*, serta menjadi acuan bagi industri manufaktur lainnya yang memanfaatkan teknologi yang sebanding.

8

Oleh karena itu, studi ini tidak hanya menyelesaikan isu internal PT. Corin Mulia Gemilang yang berkaitan dengan mutu hasil potongan, tetapi juga mendukung kemajuan pengetahuan di bidang teknik manufaktur, terutama dalam teknologi pengolahan material menggunakan laser. Dengan membandingkan jenis gas asistensi Oksigen (O_2) dan Nitrogen (N_2) terhadap tingkat kekasaran permukaan dari hasil pemotongan, diharapkan dapat diidentifikasi kombinasi parameter proses yang paling optimal untuk menghasilkan potongan yang berkualitas tinggi, efisien, serta kompetitif di industri manufaktur *modern* di Indonesia.

7

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis perbandingan pengaruh jenis gas asistensi oksigen (O_2) dan nitrogen (N_2) terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan pada mesin *Laser Cutting* CNC. Penelitian telah memberikan pemahaman praktis bagi bengkel jasa pemotongan pelat dalam menentukan parameter proses optimal agar diperoleh kualitas hasil yang lebih baik, waktu pemrosesan yang efisien, dan biaya yang lebih rendah.

11

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana Pengaruh jenis gas Nitrogen terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a) hasil pemotongan pada perbedaan ukuran 1 mm, 3 mm, dan 4 mm pada plat baja ASTM A36.
2. Bagaimana Pengaruh jenis gas Oksigen terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a) hasil pemotongan pada perbedaan ukuran 1 mm, 3 mm, dan 4 mm pada plat baja ASTM A36.

3. Mana yang lebih baik antara jenis gas asistensi (Oksigen (O₂) dengan Nitrogen (N₂) terhadap nilai kekasaran permukaan (Ra) hasil pemotongan pada material.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk Mengetahui Hasil Pengaruh jenis gas Nitrogen terhadap nilai kekasaran permukaan (Ra) hasil pemotongan pada perbedaan ukuran 1 mm, 3 mm, dan 4 mm pada plat baja ASTM A36.
2. Untuk Mengetahui Hasil Pengaruh jenis gas Oksigen terhadap nilai kekasaran permukaan (Ra) hasil pemotongan pada perbedaan ukuran 1 mm, 3 mm, dan 4 mm pada plat baja ASTM A36.
3. Untuk mengetahui yang lebih baik secara kuantitatif nilai kekasaran permukaan antara spesimen yang dipotong menggunakan gas Oksigen dan gas Nitrogen.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat baik secara teoritis maupun praktis, antara lain:

1. Manfaat Teoritis

- a. Memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang teknologi pemotongan berbasis laser, khususnya terkait pengaruh jenis gas asistensi terhadap kualitas permukaan hasil pemotongan.
- b. Menambah wawasan akademik mengenai mekanisme *reactive cutting* (O₂) dan *fusion/inert cutting* (N₂) serta keterkaitannya dengan nilai kekasaran permukaan (Ra).
- c. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang ingin mengkaji optimasi parameter *Laser Cutting*, seperti kecepatan potong, tekanan gas, daya laser, maupun material yang berbeda.

2. Manfaat Praktis

- a. Menyediakan data eksperimen yang dapat dijadikan acuan bagi PT Corin Mulia Gemilang dalam menentukan jenis gas asistensi yang paling sesuai berdasarkan kebutuhan kualitas permukaan dan biaya operasional.

- b. Membantu operator CNC *Laser Cutting* dalam memilih parameter pemotongan yang optimal sehingga dapat meminimalkan ketidakkonsistenan hasil potongan antar *batch* produksi.
- c. Memberikan dasar bagi perusahaan untuk menyusun standar operasional prosedur (SOP) pemotongan laser yang lebih efektif, efisien, dan terukur.
- d. Membantu industri jasa pemotongan pelat dalam meningkatkan daya saing melalui peningkatan kualitas hasil potong dan efisiensi proses.

3. Manfaat Ekonomi dan Industri

- a. Mendukung pengurangan biaya rework seperti pengamplasan atau pembersihan tepi potong akibat hasil pemotongan yang kasar atau teroksidasi.
- b. Membantu perusahaan dalam memilih jenis gas yang memberikan keseimbangan terbaik antara kualitas permukaan dan biaya operasional.
- c. Memberikan informasi yang relevan bagi industri manufaktur lain yang menggunakan teknologi *Laser Cutting* agar dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas produk.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Teori

1. Mesin *Laser Cutting* CNC Tipe 3015DH–3000W

Mesin *Fiber Laser Cutting* CNC tipe 3015DH–3000W merupakan mesin pemotongan laser kategori industri yang menggunakan sumber laser serat optik (*fiber laser*) dengan daya 3000 watt. Mesin ini didesain untuk memotong berbagai jenis logam seperti baja karbon, *stainless steel*, aluminium, dan paduan lainnya dengan presisi tinggi. Tipe “3015” menunjukkan ukuran area kerja 3000 mm × 1500 mm, yang merupakan standar industri untuk fabrikasi plat logam. *Fiber laser* dalam mesin ini menggunakan media penguat *ytterbium-doped fiber* yang memiliki efisiensi konversi daya tinggi serta kualitas sinar (*beam quality*) yang stabil, memungkinkan diameter fokus kecil sehingga hasil pemotongan lebih halus dan akurat. Mesin ini dilengkapi kontrol CNC yang memungkinkan pemrograman jalur pemotongan secara otomatis melalui perangkat lunak CAD/CAM. Mesin *fiber laser* berdaya 3 kW mampu memotong baja karbon 1–6 mm dengan kecepatan tinggi dan distorsi minimal, menjadikannya ideal untuk industri manufaktur modern seperti komponen mesin pertanian (Amron et al., 2024).

2. Gas Asistensi Nitrogen (N₂)

Nitrogen (N₂) merupakan gas asistensi *inert* yang banyak digunakan dalam proses pemotongan laser, terutama untuk mencapai permukaan potong yang bersih dan bebas oksidasi. Tidak seperti oksigen, nitrogen tidak bereaksi dengan logam sehingga proses pemotongan sepenuhnya bergantung pada energi laser untuk mencairkan material. Nitrogen berfungsi untuk mendorong lelehan keluar dari celah potong (*kerf*) melalui mekanisme *fusion cutting*, di mana tekanan gas yang relatif tinggi diperlukan untuk membersihkan terak dan memastikan *kerf* yang lurus. Hasil pemotongan menggunakan nitrogen umumnya menghasilkan tepi potong yang cerah, bersih, dan cocok untuk aplikasi yang membutuhkan estetika atau proses pengelasan tanpa pembersihan lanjutan.

Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan gas Nitrogen sangat sensitif terhadap parameter proses, khususnya kecepatan pemotongan dan tekanan gas asistensi, di mana kombinasi parameter yang tidak optimal dapat meningkatkan kekasaran permukaan dan menurunkan integritas tepi potong (Zeilmann & Conrado, 2022).

3. Gas Asistensi Oksigen (O_2)

Oksigen (O_2) merupakan gas asistensi yang bekerja melalui mekanisme *reactive cutting*, yaitu terjadi reaksi oksidasi antara oksigen dan logam yang dipotong. Reaksi ini menghasilkan panas tambahan yang mempercepat pencairan material sehingga pemotongan dapat dilakukan dengan kecepatan lebih tinggi dibanding nitrogen. Penggunaan O_2 menghasilkan *kerf* yang stabil serta meningkatkan efisiensi pemotongan, terutama untuk baja karbon. Namun, proses oksidasi menyebabkan tepi potong menjadi berwarna gelap dan mengandung lapisan oksida, sehingga permukaan potong kurang cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kebersihan material seperti *welding* tanpa pembersihan (Riveiro et al., 2019).

4. *Surface Roughness Tester*

Surface Roughness Tester merupakan alat ukur yang digunakan untuk menentukan tingkat kekasaran permukaan pada suatu benda kerja. Alat ini bekerja dengan metode kontak, di mana sebuah stylus digerakkan sepanjang permukaan material untuk mendeteksi ketidakrataan mikro, kemudian sinyal mekanis yang dihasilkan dikonversi menjadi data digital. Parameter kekasaran yang paling umum digunakan adalah R_a (*average roughness*), yaitu nilai rata-rata deviasi profil permukaan terhadap garis tengah. Pengukuran nilai R_a memiliki peranan penting dalam proses pemotongan laser karena digunakan untuk menilai kualitas permukaan hasil potong, mengidentifikasi terbentuknya *striation*, serta mengevaluasi pengaruh parameter pemotongan terhadap hasil potong (Xing et al., 2021).

5. Jangka Sorong (*Vernier Caliper*)

Jangka sorong merupakan alat ukur presisi yang digunakan untuk mengukur dimensi linear, seperti panjang, lebar, diameter luar, diameter dalam, serta kedalaman. Secara umum, jangka sorong memiliki tingkat ketelitian antara 0,02 mm hingga 0,05 mm, sehingga banyak digunakan dalam kegiatan inspeksi dimensi

pada proses manufaktur. Dalam konteks proses *Laser Cutting*, jangka sorong dimanfaatkan untuk mengukur lebar *kerf* (*kerf width*), dimensi hasil pemotongan, serta memastikan kesesuaian ukuran komponen dengan toleransi desain yang telah ditentukan. Penelitian berjudul *Measuring Device Bisector Vernier Caliper* serta *State-of-the-art Active Optical Techniques for Three-Dimensional Surface Metrology: A Review* menjelaskan bahwa jangka sorong merupakan alat ukur fundamental dalam industri manufaktur karena mampu memberikan akurasi yang memadai untuk inspeksi dimensi komponen logam. Sementara itu, teknik metrologi permukaan modern memiliki peranan penting dalam mengevaluasi kualitas geometrik dan integritas permukaan hasil proses pemesinan (Alshamali, 2021; Marrugo et al., 2020).

6. *Software CypCut (Laser Cutting Control Software)*

CypCut merupakan perangkat lunak (*software*) yang dirancang khusus untuk mengontrol mesin *Fiber Laser Cutting* CNC. *Software* ini berfungsi sebagai antarmuka untuk mengatur parameter pemotongan seperti kecepatan potong, daya laser, posisi fokus, frekuensi, tekanan gas asistensi, serta jalur pemotongan (*cutting path*). *CypCut* juga memiliki fitur integrasi CAD/CAM, nesting otomatis, optimization path, simulasi potong, dan koreksi piercing. *CypCut* memiliki kemampuan optimasi kecepatan, *corner smoothing*, dan *auto-focus control* yang meningkatkan kualitas pemotongan dan mengurangi cacat seperti *dross* dan *striation*. *Software* ini menjadi standar pada mesin-mesin *fiber laser* China seperti tipe 3015DH–3000W karena kompatibilitas tinggi dan kemudahan penggunaannya (Saxena & Madan, 2021).

7. Baja ASTM A36

Baja ASTM A36 merupakan salah satu jenis baja karbon rendah (*low carbon steel*) yang paling banyak digunakan dalam industri manufaktur, konstruksi, dan fabrikasi karena memiliki sifat mekanik yang baik serta mudah diproses menggunakan berbagai metode pemesinan dan pemotongan. Material ini termasuk baja struktural standar yang ditetapkan oleh ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Baja ASTM A36 memiliki kandungan karbon relatif rendah, yaitu sekitar 0,25%–0,29%, sehingga memiliki kemampuan las (*weldability*) dan kemampuan bentuk (*formability*) yang baik.

Penelitian dengan judul “*Revealing the Enhancement Mechanism of Laser Cutting on the Strength–Ductility Combination in Low Carbon Steel*” membahas pengaruh proses *Laser Cutting* terhadap sifat mekanik baja karbon rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter pemotongan laser terhadap kualitas material dan struktur mikro baja karbon rendah yang memiliki karakteristik mirip dengan baja ASTM A36. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen melalui pengujian struktur mikro, distribusi panas, dan pengujian tarik pada material setelah proses *laser cutting*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses *laser cutting* mampu menghasilkan kualitas pemotongan yang baik serta mempengaruhi sifat mekanik material akibat perubahan struktur mikro pada daerah terdampak panas (*Heat Affected Zone/HAZ*). Selain itu, parameter seperti daya laser, kecepatan potong, dan gas asistensi sangat berpengaruh terhadap kualitas permukaan hasil pemotongan dan kekasaran permukaan material (Chen et al., 2024).

B. Penelitian Terdahulu

Penelitian yang berjudul “Pengaruh Gas Bantu terhadap Kualitas Permukaan dan Pengembangan Mikrostruktur pada Pemrosesan Logam Laser” meneliti pengaruh perubahan parameter gas bantu terhadap kualitas permukaan hasil pemotongan laser melalui metode eksperimen. Dalam studi tersebut, kecepatan pemotongan dan tekanan gas diatur pada beberapa variasi, sedangkan parameter lainnya dipertahankan konstan untuk mengidentifikasi pengaruh masing-masing variabel secara terpisah. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi hubungan antara parameter gas bantu dan kualitas permukaan hasil pemotongan laser yang diukur berdasarkan nilai kekasaran permukaan (R_a). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan pemotongan cenderung menurunkan nilai kekasaran permukaan, sementara tekanan gas yang lebih tinggi justru berpotensi meningkatkan kekasaran permukaan hasil potong (Xing et al., 2021).

Penelitian lain dengan judul “Pengaruh Kecepatan Pemotongan Laser Nitrogen terhadap Tekstur Permukaan Pelat SUS 304” membahas pengaruh variasi kecepatan pemotongan laser dengan menggunakan gas asistensi nitrogen terhadap kualitas tekstur permukaan hasil pemotongan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis

hubungan antara perubahan kecepatan pemotongan laser dan tekstur permukaan pelat SUS 304 yang ditunjukkan melalui nilai kekasaran permukaan. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan memvariasikan kecepatan pemotongan, sementara parameter pemotongan lainnya dijaga tetap konstan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan pemotongan laser justru diikuti oleh kenaikan nilai kekasaran permukaan dari 2,522 μm menjadi 2,965 μm (Rohmat et al., 2023).

Penelitian lain dengan judul “Pengaruh Kecepatan Pemotongan dan Tekanan Gas terhadap Kekasaran Permukaan pada Pemotongan Laser Material AISI 304” membahas pengaruh variasi kecepatan pemotongan dan tekanan gas bantu terhadap kualitas permukaan hasil pemotongan laser. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara parameter kecepatan pemotongan dan tekanan gas dengan nilai kekasaran permukaan material AISI 304. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan memvariasikan kecepatan pemotongan dan tekanan gas, sementara parameter pemotongan lainnya dijaga tetap konstan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan pemotongan laser cenderung menurunkan nilai kekasaran permukaan, sedangkan peningkatan tekanan gas justru berpengaruh terhadap meningkatnya kekasaran permukaan hasil potong (Ali et al., 2025).

Penelitian dengan judul “Tinjauan Komprehensif Pengaruh Parameter Pemotongan Laser terhadap Kualitas Permukaan dan Lebar *Kerf* pada Material Logam” menjelaskan bahwa penggunaan oksigen (O_2) sebagai gas asistensi dalam proses pemotongan laser bekerja melalui mekanisme *reactive cutting*, yaitu terjadinya reaksi oksidasi antara gas oksigen dan material logam. Reaksi ini menghasilkan tambahan energi panas yang mendukung proses pelelehan material, sehingga meningkatkan efektivitas pemotongan dan laju penghilangan material *material removal rate* (MRR). Pada pemotongan baja karbon, penggunaan oksigen umumnya memungkinkan proses pemotongan berlangsung lebih cepat dan pada kondisi tertentu mampu menghasilkan tepi potong dengan tingkat *dross* yang relatif rendah. Namun demikian, proses oksidasi yang terjadi dapat menyebabkan terbentuknya lapisan oksida berwarna gelap pada bagian tepi hasil potongan. Berbeda dengan oksigen, nitrogen (N_2) bersifat *inert* sehingga tidak bereaksi

15 dengan material logam, yang menghasilkan tepi potong lebih cerah dan bebas oksida, sehingga lebih sesuai untuk kebutuhan estetika maupun proses pengelasan tanpa perlakuan pembersihan tambahan. Meskipun demikian, penggunaan nitrogen umumnya memerlukan tekanan gas yang lebih tinggi dan berpotensi menimbulkan dross apabila parameter pemotongan seperti kecepatan, posisi fokus, dan tekanan gas tidak diatur secara optimal. Secara umum, pengaruh jenis gas asistensi terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a) tidak bersifat konsisten, karena pada kondisi parameter tertentu oksigen dapat menghasilkan kualitas permukaan yang cukup baik, sementara pada kondisi lainnya nitrogen justru memberikan hasil permukaan yang lebih halus. Oleh karena itu, pemilihan dan pengaturan parameter pemotongan yang tepat menjadi faktor penting dalam memperoleh hasil pemotongan laser yang optimal (Alsaadawy et al., 2024).

23 Penelitian dengan judul “*Effect of Cutting Speed on Surface Quality and Heat-Affected Zone in Laser Cutting of 316L Stainless Steel*” menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan ANOVA *One Way*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan pemotongan memberikan pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan (R_a) (Jarosz et al., 2016). Penelitian lain dengan judul “*Parametric Analysis of Laser Machining with Response Surface Method on SS-304*” menunjukkan bahwa parameter tunggal seperti kecepatan potong dan daya laser memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas permukaan (Kotadiya & Pandya, 2016). Berdasarkan penelitian tersebut, ANOVA *One Way* dalam penelitian ini digunakan untuk menganalisis pengaruh ketebalan material terhadap kekasaran permukaan pada penggunaan gas nitrogen dan oksigen.

15 Penelitian dengan judul “*Experimental investigation of industrial laser cutting: The effect of the material selection and the process parameters on the kerf quality*” menggunakan metode eksperimen faktorial untuk menganalisis pengaruh material, ketebalan, kecepatan potong, dan tekanan gas terhadap kualitas hasil potong. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi parameter proses secara simultan mempengaruhi kualitas pemotongan, sehingga diperlukan analisis ANOVA untuk mengetahui interaksi antar variabel (Genna et al., 2020). Penelitian lain dengan judul “*Optimization of laser cutting parameters for improved surface quality in AISI 304 stainless steel*” menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan potong dapat

menurunkan kekasaran permukaan, sedangkan peningkatan tekanan gas dapat meningkatkan kekasaran permukaan (Nas & Uzuner, 2023). Berdasarkan penelitian tersebut, ANOVA *Two Way* dalam penelitian ini digunakan untuk menganalisis pengaruh jenis gas, ketebalan material, serta interaksi keduanya terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a).

Berdasarkan uraian tersebut, dapat diketahui bahwa permasalahan utama dalam proses pemotongan di PT Corin Mulia Gemilang tidak hanya berkaitan dengan perbedaan hasil pemotongan antara penggunaan gas O_2 dan N_2 , tetapi juga pada belum jelasnya pengaruh parameter proses terhadap nilai kekasaran permukaan. Keterbatasan data eksperimen yang tersedia menyebabkan perusahaan mengalami kesulitan dalam menentukan parameter pemotongan yang paling optimal untuk menghasilkan permukaan potong yang halus, minim oksidasi, serta tetap efisien dari sisi penggunaan energi.

C. Kerangka Berpikir

Proses pemotongan menggunakan mesin *Laser Cutting* CNC sangat dipengaruhi oleh jenis gas asistensi yang digunakan selama pemotongan. Gas oksigen (O_2) bekerja dengan mekanisme *reactive cutting*, yaitu adanya reaksi eksotermik antara oksigen dan material yang menghasilkan panas tambahan sehingga proses pemotongan dapat berlangsung lebih cepat. Namun, reaksi tersebut juga menyebabkan terbentuknya lapisan oksida pada tepi potongan dan berpotensi meningkatkan nilai kekasaran permukaan akibat kondisi panas yang kurang stabil. Sebaliknya, gas nitrogen (N_2) bekerja melalui mekanisme *fusion cutting* dan bersifat *inert* sehingga tidak bereaksi dengan material. Penggunaan nitrogen umumnya menghasilkan hasil potongan yang lebih bersih dan bebas oksida serta memiliki kecenderungan permukaan yang lebih halus, meskipun memerlukan tekanan gas yang lebih tinggi dan kecepatan pemotongan yang relatif lebih rendah.

Perbedaan karakteristik antara kedua jenis gas asistensi tersebut diperkirakan berpengaruh terhadap kualitas hasil pemotongan, khususnya terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a). Dengan menerapkan parameter pemotongan yang sama, penelitian ini menitikberatkan pada perbandingan hasil pemotongan menggunakan gas O_2 dan gas N_2 untuk mengetahui jenis gas yang mampu

22 menghasilkan kualitas permukaan paling baik. Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan menggunakan alat *Surface Roughness Tester* dan hasilnya dianalisis secara kuantitatif. Berdasarkan hasil analisis tersebut, diharapkan dapat ditentukan jenis gas asistensi yang paling optimal dalam menghasilkan potongan yang presisi dan berkualitas. Oleh karena itu, kerangka berpikir penelitian ini disusun berdasarkan hubungan sebab dan akibat antara jenis gas asistensi yang digunakan dengan nilai kekasaran permukaan hasil pemotongan laser.

D. Hipotesis Penelitian

1) Penggunaan Gas Nitrogen

1 H₀₁: Tidak terdapat perbedaan signifikan nilai kekasaran permukaan (Ra) antara
6 ketebalan 1 mm, 3 mm, dan 4 mm ketika pemotongan menggunakan gas Nitrogen.

1 H_{a1}: Terdapat perbedaan signifikan nilai kekasaran permukaan (Ra) pada
6 ketebalan 1 mm, 3 mm, dan 4 mm ketika pemotongan menggunakan gas Nitrogen.

2) Penggunaan Gas Oksigen

1 H₀₂: Tidak terdapat perbedaan signifikan nilai kekasaran permukaan (Ra) antara
6 ketebalan 1 mm, 3 mm, dan 4 mm ketika pemotongan menggunakan gas Oksigen.

1 H_{a2}: Terdapat perbedaan signifikan nilai kekasaran permukaan (Ra) yang
6 berbeda secara signifikan pada ketebalan 1 mm, 3 mm, dan 4 mm ketika pemotongan menggunakan gas Oksigen.

3) Perbandingan Nilai Kekasaran

1 H₀₃: Tidak terdapat perbedaan signifikan nilai kekasaran permukaan (Ra) antara
pemotongan menggunakan gas Nitrogen dan gas Oksigen pada masing-masing ketebalan plat.

1 H_{a3}: Terdapat perbedaan signifikan nilai kekasaran permukaan (Ra) antara
pemotongan menggunakan gas Nitrogen dan gas Oksigen pada masing-masing ketebalan plat (1 mm, 3 mm, dan 4 mm).

3

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Desain Penelitian

Analisis Perbandingan Pengaruh Jenis Gas Asistensi Oksigen (O_2) Dan Nitrogen (N_2) Terhadap Kekasaran Permukaan Hasil Pemotongan Pada Mesin *Laser Cutting* Cnc.

3

1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang menerapkan metode eksperimen, karena data yang dihasilkan berupa angka hasil pengukuran tingkat kekasaran permukaan (R_a) dari proses pemotongan laser CNC. Data kuantitatif tersebut diperoleh melalui pengujian menggunakan Surface Roughness Tester, kemudian dianalisis menggunakan metode statistik untuk mengetahui pengaruh perlakuan yang diberikan.

Berdasarkan pengendalian variabel penelitian, studi ini dikategorikan sebagai penelitian eksperimen murni (*true experimental*), sebab peneliti secara langsung mengatur dan mengontrol variabel penelitian selama proses pengujian. Perlakuan yang diberikan berupa penggunaan dua jenis gas asistensi, yaitu oksigen (O_2) dan nitrogen (N_2), pada pemotongan plat baja dengan variasi ketebalan tertentu.

Ditinjau dari tujuan penelitian, penelitian ini bersifat komparatif, karena bertujuan untuk membandingkan nilai kekasaran permukaan (R_a) hasil pemotongan antara penggunaan gas O_2 dan gas N_2 pada ketebalan plat 1 mm, 3 mm, dan 4 mm. Melalui pendekatan eksperimen yang terstruktur dan terkontrol, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan data empiris yang valid dan dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah.

20

2. Variabel Penelitian

Berikut adalah Beberapa Variable penelitian yang dapat diidentifikasi:

a. Variabel Bebas

Variabel independen berikut dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Gas Asistensi Oksigen (O_2)
2. Gas Asistensi Nitrogen (N_2)

14

19 b. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kekasaran permukaan (*surface roughness*) hasil pemotongan material yang dinyatakan dalam satuan mikrometer (μm) dan diperoleh melalui proses pengukuran menggunakan alat *Surface Roughness Tester*.

14 c. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dijaga tetap agar perubahan hasil penelitian tidak dipengaruhi faktor lain selain perlakuan utama. Dalam penelitian ini, variabel kontrol meliputi jenis dan ketebalan material, daya laser, kecepatan potong, fokus laser, jarak *nozzle*, serta prosedur pengukuran yang dibuat konstan pada setiap pengujian. Untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai tahapan pelaksanaan penelitian, disajikan diagram alir (*flowchart*) pada gambar 3.1 yang menggambarkan urutan kegiatan penelitian secara sistematis.

31 3. Desain Eksperimen

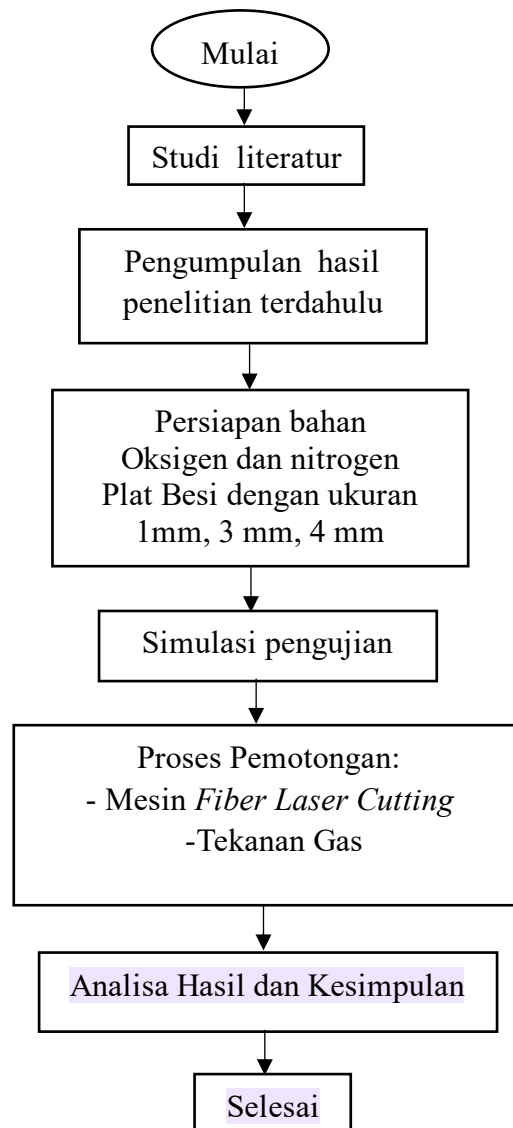
Penelitian ini menggunakan desain eksperimen faktorial 2×3 dengan pengulangan (*replication*), yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh jenis gas asistensi dan ketebalan material terhadap kekasaran permukaan (R_a) hasil pemotongan laser CNC.

Desain faktorial dipilih karena mampu mengevaluasi pengaruh masing-masing faktor secara terpisah (*main effect*) maupun interaksi antar faktor, sehingga hasil analisis menjadi lebih komprehensif dan objektif.

Tabel 3. 1 Desain Eksperimen

No	Jenis Gas	Ketebalan Plat (mm)	Kekasaran Permukaan
1.	O ₂	1	
2.	O ₂	3	
3.	O ₂	4	
4.	N ₂	1	
5.	N ₂	3	
6.	N ₂	4	
Total Spesimen			

Untuk mempermudah penelitian berikut adalah alur penelitian:



Gambar 3. 1 Diagram Alir

1. Studi Literatur

Studi Literatur adalah istilah yang merujuk pada penyelidikan dan analisis sistematis terhadap karya ilmiah yang ada, buku, artikel, dan sumber lainnya mengenai topik tertentu. Studi literatur adalah salah satu fase pertama dalam sebuah proyek penelitian, di mana pengetahuan yang sudah ada dan penelitian sebelumnya mengenai topik tertentu dikaji dan dievaluasi.

2. Pengumpulan Data dan Hasil Sumber Sebelumnya

Di tahap ini, dicari literatur atau penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik, meliputi: Studi tentang penggunaan *Laser Cutting* pada material logam (seperti plat besi), pengaruh oksigen dan nitrogen sebagai gas assist (gas bantu) dalam proses pemotongan menggunakan mesin laser, data tentang tekanan gas dan kualitas potongan pada berbagai ketebalan plat.

3. Persiapan Bahan

Dalam hal ini, bahan yang digunakan adalah: Oksigen dan Nitrogen: Gas-gas ini digunakan dalam proses pemotongan laser untuk membantu proses pemotongan dan mempengaruhi kualitas potongan (seperti kecepatan pemotongan dan kualitas tepi), Plat Besi: Plat besi dengan ketebalan tertentu telah dipotong menggunakan mesin laser. Ketebalan plat yang digunakan dalam eksperimen adalah 1 mm, 3 mm, dan 4 mm.

4. Simulasi Pengujian

Sebelum melakukan pengujian langsung, simulasi atau perencanaan percobaan sangat penting. Ini bisa meliputi: Simulasi kondisi pemotongan menggunakan *software* yang dapat memodelkan aliran gas dan interaksi antara laser dan bahan, Pemilihan parameter seperti kecepatan pemotongan, kekuatan laser, dan tekanan gas yang telah diuji.

5. Proses Pemotongan

Mesin ini menggunakan laser serat optik untuk memotong logam dengan presisi tinggi. Mesin ini juga biasanya lebih efisien dan menghasilkan potongan dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan mesin laser CO2. Tekanan gas yang digunakan mempengaruhi kualitas potongan. Nitrogen digunakan untuk pemotongan yang lebih cepat dan menghindari oksidasi, sementara oksigen bisa digunakan untuk menghasilkan potongan yang lebih halus.

6. Analisis Hasil dan Kesimpulan

Hasil pengujian menunjukkan variasi kualitas permukaan berdasarkan jenis gas *assist* dan ketebalan plat. Pemotongan dengan nitrogen cenderung menghasilkan kecepatan pemotongan lebih tinggi namun minim oksidasi dan kekasaran permukaan yang lebih besar. Sebaliknya, oksigen menghasilkan tepi potongan yang lebih halus, dan nilai kekasaran yang lebih rendah. Ketebalan plat juga

mempengaruhi kualitas, di mana plat yang lebih tebal cenderung memiliki kekasaran lebih tinggi akibat penyebaran panas yang lebih besar. Secara keseluruhan, oksigen lebih optimal untuk kualitas permukaan halus, sementara nitrogen lebih efektif untuk pemotongan cepat.

B. Instrumen Penelitian

1. Alat

- Mesin *Laser Cutting* CNC tipe 3015DH-3000W
- Tabung Gas asistensi O₂ dan N₂ beserta Regulator
- Surface Roughes Tester*
- Jangka Sorong
- Software cypcut Laser Cutting*

2. Bahan

Plat Baja ASTM A36 dengan ketebalan 1mm, 3mm, dan 4mm

C. Tempat dan Jadwal Penelitian

Proses pemotongan laser dilaksanakan di PT Corin Mulia Gemilang, sementara pengujian kekasaran dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Nusantara PGRI Kediri.

Waktu Penelitian

Tabel 3. 2 Waktu Penelitian

No.	Tahapan Kegiatan	JADWAL KERJA SELAMA 5 BULAN																			
		I				II				III				IV				V			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur																				
2	Analisa Data																				
3	Pengambilan Data																				
4	Pengolahan Data																				
5	Penulisan Laporan																				

D. Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh hasil pemotongan plat baja menggunakan mesin *Laser Cutting* CNC dengan gas asistensi Oksigen (O₂) dan Nitrogen (N₂). Sampel penelitian berupa plat baja ASTM A36 dengan ketebalan 1 mm, 3 mm, dan 4 mm. Setiap variasi ketebalan dipotong menggunakan kedua jenis gas asistensi tersebut, dengan 3 spesimen untuk setiap kombinasi perlakuan. Dengan demikian, jumlah sampel untuk gas O₂ sebanyak 9 spesimen dan untuk gas N₂ sebanyak 9 spesimen, sehingga total sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 18 spesimen. Selanjutnya, seluruh spesimen diuji kekasaran permukaannya untuk mengetahui pengaruh jenis gas asistensi dan ketebalan material terhadap kualitas hasil pemotongan.

E. Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini, pengukuran kekasaran permukaan dilakukan menggunakan surface roughness tester. Sebelum pengukuran, permukaan hasil pemotongan dibersihkan dari kotoran dan serpihan logam yang dapat memengaruhi hasil pengujian. Selanjutnya, alat dikalibrasi sesuai standar pengukuran yang berlaku. Pengukuran dilakukan pada satu titik yang mewakili permukaan hasil pemotongan pada setiap spesimen. Untuk meningkatkan keandalan data, pengukuran pada titik tersebut dilakukan sebanyak tiga kali, kemudian hasilnya dirata-ratakan sehingga diperoleh satu nilai kekasaran yang mewakili setiap spesimen. Data yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk analisis statistik guna mengetahui pengaruh jenis gas asistensi dan ketebalan material terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan.

F. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis kuantitatif terhadap nilai kekasaran permukaan (Ra) hasil pemotongan menggunakan dua jenis gas asistensi, yaitu Oksigen (O₂) dan Nitrogen (N₂). Data yang diperoleh dari hasil pengukuran kekasaran permukaan terlebih dahulu dihitung nilai rata-rata (*mean*) pada setiap perlakuan untuk mengetahui kecenderungan hasil pemotongan.

Selanjutnya, dilakukan pengujian prasyarat analisis yang meliputi uji normalitas dan uji homogenitas. Uji normalitas bertujuan untuk mengetahui apakah data nilai

kekasaran permukaan (R_a) berdistribusi normal, sedangkan uji homogenitas digunakan untuk memastikan bahwa varians data antar kelompok perlakuan bersifat homogen.

Apabila hasil ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan (nilai signifikansi $< 0,05$), maka dilakukan uji lanjut (*Post Hoc Test*) untuk mengetahui kelompok perlakuan yang memiliki perbedaan secara nyata. Pemilihan metode *Post Hoc* disesuaikan dengan hasil uji homogenitas varians. Data yang memenuhi asumsi homogenitas, uji lanjut dilakukan menggunakan metode *Tukey HSD* (*Honestly Significant Difference*). Namun, ada varians antar kelompok tidak homogen, uji lanjut dilakukan menggunakan metode *Games-Howell* karena metode ini lebih sesuai digunakan pada data dengan varians yang tidak sama.

Hasil analisis ANOVA dan uji *Post Hoc* digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan dan penarikan kesimpulan mengenai pengaruh penggunaan gas asistensi Oksigen (O_2) dan Nitrogen (N_2) terhadap kualitas permukaan hasil pemotongan pada mesin laser cutting CNC.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian



Gambar 4. 1 Pemotongan Bahan menggunakan Mesin Laser Cutting CNC
Gambar 4. 2 Pengukuran Bahan menggunakan Alat Surface Roughness Tester

Data penelitian ini diperoleh dari hasil pengukuran tingkat kekasaran permukaan (R_a) pada spesimen plat baja yang dipotong menggunakan mesin *Laser Cutting* CNC dengan dua jenis gas asistensi, yaitu oksigen (O_2) dan nitrogen (N_2). Variasi ketebalan material yang digunakan dalam penelitian meliputi 1 mm, 3 mm, dan 4 mm.

Setiap kombinasi perlakuan dilakukan pengukuran sebanyak tiga kali untuk meningkatkan ketelitian dan keandalan data. Pengukuran dilakukan menggunakan alat Surface Roughness Tester pada bagian tepi hasil pemotongan. Nilai kekasaran permukaan dinyatakan dalam satuan mikrometer (μm).

Seluruh proses pengambilan data dilaksanakan dengan prosedur yang sama pada setiap spesimen. Dengan demikian, perbedaan nilai kekasaran yang diperoleh dapat dikaitkan dengan perlakuan yang diberikan, yaitu jenis gas asistensi dan ketebalan material.

1. Deskripsi Data Pemotongan dengan Gas Nitrogen (N_2)

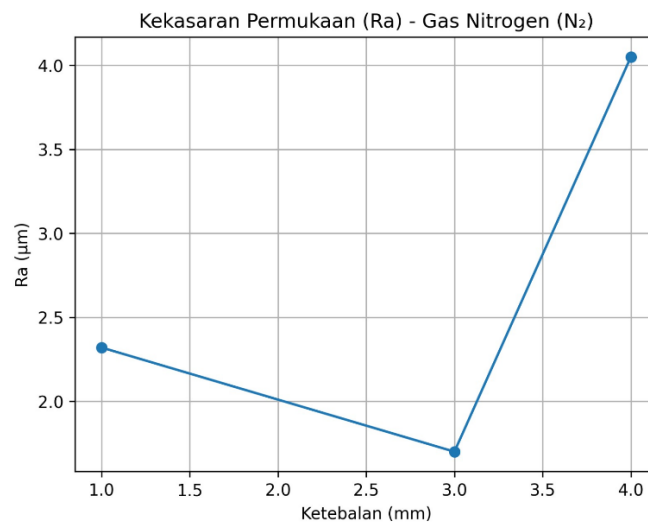
Pemotongan material plat baja menggunakan gas asistensi Nitrogen (N_2) dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas permukaan hasil potongan, khususnya nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) yang dinyatakan dalam parameter R_a (μm). Gas Nitrogen bersifat *inert* sehingga tidak

bereaksi secara kimia dengan material selama proses pemotongan, sehingga proses pemotongan sepenuhnya bergantung pada energi dari sinar laser.

Tabel 4. 1 Parameter Pemotongan dengan Jenis Gas Nitrogen

Parameter	Tebal 1 mm	Tebal 3 mm	Tebal 4 mm
Daya Laser	3000 Watt	3000 Watt	3000 Watt
Kecepatan Potong	4 m/menit	5,6 m/menit	4,5 m/menit
Tekanan Gas	0,8 bar	0,8 bar	0,8 bar
Diameter Nozel	2 mm	2 mm	2 mm
Waktu Potong	3,71 detik	4,41 detik	4,26 detik
Fokus Laser	-2 mm	-3 mm	-3 mm

Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap variasi ketebalan untuk memperoleh nilai rata-rata yang representatif. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan (R_a) pada pemotongan menggunakan gas Nitrogen adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 3 Grafik kekasaran permukaan (R_a) Gas Nitrogen

- Ketebalan 1 mm: rata-rata $R_a = 2,32 \mu\text{m}$
- Ketebalan 3 mm: rata-rata $R_a = 1,70 \mu\text{m}$
- Ketebalan 4 mm: rata-rata $R_a = 4,05 \mu\text{m}$

Berdasarkan data tersebut, terlihat bahwa nilai kekasaran permukaan mengalami variasi terhadap perubahan ketebalan material. Pada ketebalan 3 mm diperoleh nilai R_a paling rendah, yang menunjukkan kondisi pemotongan relatif lebih stabil. Namun, pada ketebalan 4 mm terjadi peningkatan nilai kekasaran yang cukup tinggi. Fenomena ini menunjukkan bahwa pada material yang lebih tebal, energi laser yang diberikan tidak cukup optimal untuk menghasilkan permukaan potong yang halus ketika menggunakan gas *inert*. Hal ini disebabkan karena tidak adanya kontribusi panas tambahan dari reaksi kimia, sehingga proses pelelehan dan pembuangan material kurang maksimal.



Gambar 4. 4 Hasil Pemotongan Pada Variasi Jenis Gas

Secara visual pada Gambar 4.4, hasil pemotongan menggunakan gas Nitrogen memiliki karakteristik permukaan yang lebih bersih, terang, dan bebas dari oksidasi. Hal ini menjadi keunggulan utama penggunaan gas Nitrogen, meskipun dari sisi kekasaran permukaan masih tergolong lebih tinggi dibandingkan gas Oksigen.

2. Deskripsi Data Pemotongan dengan Gas Oksigen (O_2)

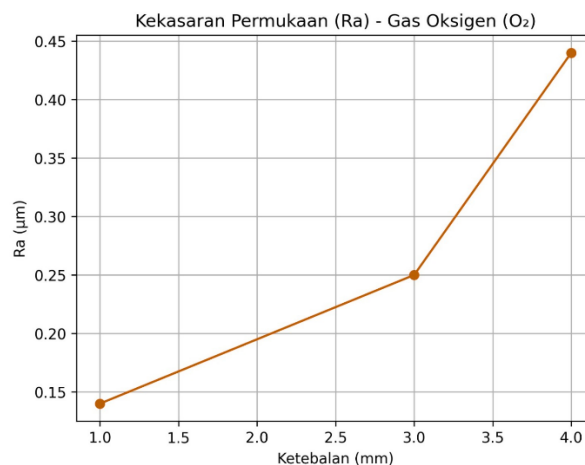
Pemotongan menggunakan gas Oksigen (O_2) dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan kualitas hasil potongan terhadap penggunaan gas Nitrogen. Berbeda dengan Nitrogen, gas Oksigen bersifat reaktif dan dapat menghasilkan reaksi eksotermik saat berinteraksi dengan material logam, sehingga menghasilkan tambahan energi panas selama proses pemotongan.

Tabel 4. 2 Grafik kekasaran permukaan (R_a) Gas Nitrogen

Parameter	Tebal 1 mm	Tebal 3 mm	Tebal 4 mm
Daya Laser	3000 Watt	3000 Watt	3000 Watt

Kecepatan Potong	6 m/menit	4 m/menit	3,5 m/menit
Tekanan Gas	0,76 bar	0,78 bar	0,65 bar
Diameter Nozel	1,2 mm	1,2 mm	1,2 mm
Waktu Potong	5,38 detik	5,41 detik	6,35 detik
Fokus Laser	-2 mm	-3 mm	-3 mm

Hasil pengukuran kekasaran permukaan (Ra) pada pemotongan menggunakan gas Oksigen menunjukkan nilai sebagai berikut:



Gambar 4. 5 kekasaran permukaan (Ra) Gas Nitrogen

- Ketebalan 1 mm: rata-rata Ra = **0,14 μm**
- Ketebalan 3 mm: rata-rata Ra = **0,25 μm**
- Ketebalan 4 mm: rata-rata Ra = **0,44 μm**

Dari hasil tersebut terlihat bahwa nilai kekasaran permukaan cenderung meningkat seiring bertambahnya ketebalan material.

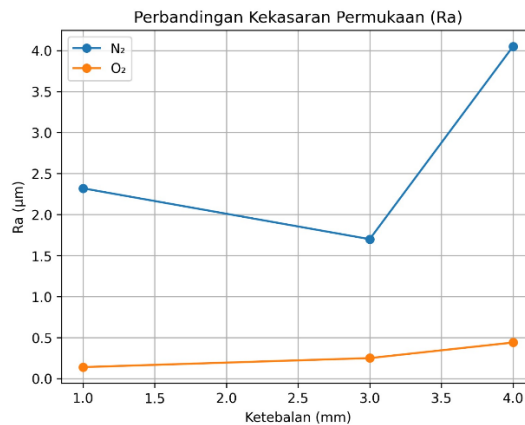
Hal ini menunjukkan bahwa adanya reaksi eksotermik pada penggunaan gas Oksigen mampu membantu proses pelelehan material menjadi lebih optimal, sehingga menghasilkan permukaan potongan yang lebih halus. Selain itu, proses pemotongan juga cenderung lebih cepat dibandingkan dengan penggunaan gas Nitrogen.

Namun, kelemahan utama dari penggunaan gas Oksigen adalah terbentuknya lapisan oksida pada permukaan hasil potongan (Gambar 4.4). Lapisan ini

menyebabkan perubahan warna menjadi lebih gelap dan dapat mempengaruhi kualitas visual serta sifat material pada kondisi tertentu.

3. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan (Ra)

Perbandingan nilai kekasaran permukaan antara penggunaan gas Nitrogen (N₂) dan Oksigen (O₂) pada berbagai ketebalan material menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan.



Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Kekasaran pada semua variasi jenis gas

Ketebalan 1 mm: N₂ $\approx$ 2,32 μ m, O₂ $\approx$ 0,14 μ m

Ketebalan 3 mm: N₂ $\approx$ 1,70 μ m, O₂ $\approx$ 0,25 μ m

Ketebalan 4 mm: N₂ $\approx$ 4,05 μ m, O₂ $\approx$ 0,44 μ m

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa pada semua variasi ketebalan, gas Oksigen menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih rendah dibandingkan gas Nitrogen. Hal ini menunjukkan bahwa gas Oksigen lebih efektif dalam menghasilkan permukaan yang halus. Namun, jika ditinjau dari karakteristik hasil potongan, masing-masing gas memiliki keunggulan tersendiri, yaitu:

Gas Nitrogen menghasilkan permukaan yang bersih dan bebas oksidasi, Gas Oksigen menghasilkan permukaan yang lebih halus tetapi mengalami oksidasi. Dengan demikian, pemilihan jenis gas asistensi dalam proses *laser cutting* harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi. Jika diperlukan hasil permukaan yang halus, maka gas Oksigen lebih direkomendasikan. Namun jika diperlukan hasil

potongan yang bersih tanpa oksidasi, maka gas Nitrogen menjadi pilihan yang lebih tepat.

B. Pembahasan

1. Pengaruh Gas Nitrogen Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra)

a. Uji Prasyarat (Normalitas, Homogenitas, Linieritas)

Sebelum dilakukan analisis statistik lanjutan, data hasil pengukuran kekasaran permukaan (Ra) pada pemotongan menggunakan gas Nitrogen (N₂) terlebih dahulu diuji melalui uji prasyarat analisis. Uji ini bertujuan untuk memastikan bahwa data memenuhi asumsi dasar dalam analisis parametrik, sehingga hasil analisis yang diperoleh valid dan dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah.

1) Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data kekasaran permukaan (Ra) berdistribusi normal.

Tests of Normality							
	Ketebalan (mm)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Ra (µm)	1	.213	9	.200 [*]	.869	9	.119
	3	.258	9	.086	.882	9	.165
	4	.132	9	.200 [*]	.981	9	.968
[*] . This is a lower bound of the true significance. ^a . Lilliefors Significance Correction							

Gambar 4. 7 Hasil Uji Normalitas pada Jenis Gas Nitrogen

Berdasarkan Gambar 4.7 , hasil uji normalitas menggunakan metode *Shapiro-Wilk* menunjukkan nilai signifikansi (Sig.) pada ketebalan 1 mm sebesar 0,119, ketebalan 3 mm sebesar 0,165, dan ketebalan 4 mm sebesar 0,968. Seluruh nilai tersebut lebih besar dari 0,05, sehingga dapat dinyatakan bahwa data berdistribusi normal. Selain itu, hasil uji normalitas menggunakan metode *Kolmogorov-Smirnov* juga menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,200; 0,086; dan 0,200 yang semuanya berada di atas 0,05. Hal ini semakin memperkuat bahwa data telah memenuhi asumsi normalitas. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data kekasaran permukaan (Ra) hasil

pemotongan menggunakan gas Nitrogen memenuhi asumsi normalitas dan layak digunakan untuk analisis statistik parametrik.

2) Uji homogenitas

Uji Homogenitas bertujuan untuk mengetahui apakah varians data antar kelompok perlakuan bersifat sama (homogen).

Test of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Ra (µm)	Based on Mean	10.518	2	24	.001
	Based on Median	7.433	2	24	.003
	Based on Median and with adjusted df	7.433	2	12.987	.007
	Based on trimmed mean	10.330	2	24	.001

Gambar 4. 8 Hasil Uji Homogenitas pada Jenis Gas Nitrogen

Berdasarkan Gambar 4.8 , hasil uji homogenitas menggunakan metode *Levene (Based On Mean)*, diperoleh nilai signifikan sebesar 0,001 ($< 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa data tidak memiliki varians yang homogen atau tidak homogen

3) Uji Linieritas

Uji linieritas dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat hubungan linier antara variabel bebas (ketebalan material) dengan variabel terikat (kekasaran permukaan Ra).

ANOVA Table						
			Sum of Squares	df	Mean Square	F
Ra (µm) * Ketebalan (mm)	Between Groups	(Combined)	26861886.52	2	13430943.26	450.764
		Linearity	8557881.947	1	8557881.947	287.216
		Deviation from Linearity	18304004.57	1	18304004.57	614.311
	Within Groups		715103.333	24	29795.972	
	Total		27576989.85	26		

Gambar 4. 9 Hasil Uji Linieritas pada Jenis Gas Nitrogen

Berdasarkan Gambar 4.9 , hasil uji linearitas diperoleh nilai signifikansi pada *linearity* sebesar 0,000 ($< 0,05$) yang menunjukkan adanya hubungan antara variabel ketebalan dan kekasaran permukaan. Namun, nilai signifikansi deviation from linearity sebesar 0,000 ($< 0,05$) menunjukkan adanya penyimpangan dari hubungan linear, sehingga dapat disimpulkan bahwa hubungan kedua variabel tidak sepenuhnya linear.

b. Uji Anova

Berdasarkan hasil uji prasyarat, data pada masing-masing variasi ketebalan material, yaitu 1 mm, 3 mm, dan 4 mm, menunjukkan distribusi yang normal sehingga memenuhi asumsi normalitas. Namun, berdasarkan hasil uji homogenitas, varians data antar kelompok tidak homogen. Oleh karena itu, pengujian menggunakan ANOVA *Welch*, karena metode ini lebih sesuai digunakan pada data yang berdistribusi normal tetapi tidak memenuhi asumsi homogenitas varians.

ANOVA					
Kekasaran Permukaan (μm)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.408	2	.204	1073.582	.000
Within Groups	.005	24	.000		
Total	.412	26			

Robust Tests of Equality of Means				
Kekasaran Permukaan (μm)				
	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	959.044	2	15.947	.000

a. Asymptotically F distributed.

Gambar 4. 10 Hasil Uji Anova pada Jenis Gas Nitrogen

Berdasarkan Gambar 4.10, hasil uji ANOVA *One Way* menggunakan SPSS, diperoleh nilai F hitung sebesar 450,764 dengan nilai signifikansi sebesar 0,000 ($< 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a) pada variasi ketebalan material 1 mm, 3 mm, dan 4 mm. Dengan demikian, hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_a) diterima, yang berarti ketebalan material berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan hasil pemotongan menggunakan gas Nitrogen (N_2).

c. Uji Lanjut (*Post Hoc Tukey*)

Uji lanjut (*Post Hoc Test*) menggunakan metode Tukey dilakukan karena hasil ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antar kelompok ketebalan material.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Ra_μm

	(I) ketebalan_mm	(J) ketebalan_mm	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
Tukey HSD	1	3	.621778*	.081372	.000	.41857	.82499
		4	-1.735333*	.081372	.000	-1.93854	-1.53213
	3	1	-.621778*	.081372	.000	-.82499	-.41857
		4	-2.357111*	.081372	.000	-2.56032	-2.15390
	4	1	1.735333*	.081372	.000	1.53213	1.93854
		3	2.357111*	.081372	.000	2.15390	2.56032
Games-Howell	1	3	.621778*	.093909	.000	.36019	.88336
		4	-1.735333*	.096720	.000	-1.99995	-1.47072
	3	1	-.621778*	.093909	.000	-.88336	-.36019
		4	-2.357111*	.041115	.000	-2.46427	-2.24996
	4	1	1.735333*	.096720	.000	1.47072	1.99995
		3	2.357111*	.041115	.000	2.24996	2.46427

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Gambar 4. 11 Hasil Uji *Post Hoc* pada Jenis Gas Nitrogen

Berdasarkan Gambar 4.11, hasil uji lanjut (*post hoc*) menggunakan metode *Games-Howell* menunjukkan bahwa seluruh pasangan variasi ketebalan material memiliki perbedaan yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan. Metode *Games-Howell* digunakan karena hasil uji homogenitas menunjukkan bahwa varians antar kelompok tidak homogen (Sig. < 0,05), sehingga metode ini lebih sesuai dibandingkan *Tukey HSD* yang mensyaratkan homogenitas varians. Perbandingan antara ketebalan 1 mm dengan 3 mm, 1 mm dengan 4 mm, serta 3 mm dengan 4 mm menghasilkan nilai signifikansi sebesar 0,000 (< 0,05). Hal ini menunjukkan bahwa setiap variasi ketebalan material pada penggunaan gas Nitrogen (N₂) memberikan perbedaan yang nyata terhadap nilai kekasaran permukaan hasil pemotongan laser.

d. Penjelasan

Berdasarkan hasil uji prasyarat, data kekasaran permukaan pada pemotongan menggunakan gas Nitrogen (N₂) menunjukkan bahwa tidak seluruh asumsi analisis parametrik terpenuhi, khususnya pada uji homogenitas. Oleh karena itu, setelah hasil *One Way ANOVA* menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan dari variasi ketebalan material terhadap nilai kekasaran permukaan (Ra), dilakukan uji lanjut (*post hoc*) menggunakan metode *Games-Howell*. Hasil uji *post hoc* menunjukkan bahwa seluruh pasangan ketebalan material, yaitu 1

mm, 3 mm, dan 4 mm, memiliki perbedaan yang signifikan dengan nilai signifikansi sebesar 0,000 ($< 0,05$). Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan ketebalan material memberikan pengaruh nyata terhadap kualitas permukaan hasil pemotongan laser menggunakan gas Nitrogen.

Pada ketebalan 3 mm diperoleh nilai rata-rata kekasaran permukaan terendah sebesar $1,70 \mu\text{m}$. Nilai ini menunjukkan bahwa proses pemotongan pada ketebalan 3 mm berlangsung lebih stabil dibandingkan ketebalan lainnya. Kondisi tersebut diduga terjadi karena kombinasi parameter pemotongan yang digunakan, yaitu daya laser 3000 W, kecepatan potong 5,6 m/menit, tekanan gas 0,8 bar, dan posisi fokus -3 mm, mampu menghasilkan proses pelelehan serta pembuangan material yang lebih optimal. Akibatnya, permukaan hasil pemotongan menjadi lebih halus dan memiliki pola goresan (*striations*) yang lebih seragam.

Pada ketebalan 1 mm diperoleh nilai rata-rata kekasaran permukaan sebesar $2,32 \mu\text{m}$. Meskipun material yang dipotong lebih tipis, nilai kekasaran yang dihasilkan masih lebih tinggi dibandingkan ketebalan 3 mm. Hal ini menunjukkan bahwa ketebalan material yang lebih tipis tidak selalu menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik. Kondisi tersebut diduga disebabkan oleh distribusi energi laser yang kurang optimal sehingga proses pelelehan material berlangsung terlalu cepat dan menghasilkan pola permukaan yang kurang seragam.

Sementara itu, pada ketebalan 4 mm diperoleh nilai rata-rata kekasaran permukaan tertinggi sebesar $4,05 \mu\text{m}$. Peningkatan nilai kekasaran ini menunjukkan bahwa semakin tebal material yang dipotong, semakin besar energi yang diperlukan untuk melelehkan dan mengeluarkan material dari celah pemotongan. Karena Nitrogen merupakan gas *inert* yang tidak menghasilkan panas tambahan melalui reaksi kimia, seluruh energi pemotongan hanya berasal dari sinar laser. Akibatnya, pada material yang lebih tebal proses pelelehan dan pengeluaran material menjadi kurang optimal sehingga meningkatkan

kemungkinan terbentuknya *dross* dan pola goresan yang lebih kasar pada permukaan hasil potong.

Hasil penelitian ini sejalan dengan teori *fusion cutting*, di mana gas Nitrogen berfungsi sebagai gas *inert* yang membantu mengeluarkan material cair tanpa terlibat dalam reaksi kimia dengan material benda kerja. Oleh karena itu, kualitas permukaan hasil pemotongan sangat dipengaruhi oleh ketebalan material dan parameter proses yang digunakan. Selain itu, hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian yang berjudul “*The Effect of Cutting Speed of Nitrogen Laser Cutting on the Surface Texture of SUS 304 Plate*”, menunjukkan bahwa perubahan parameter pemotongan dapat mempengaruhi tekstur permukaan hasil pemotongan laser (Rohmat et al., 2023), serta didukung oleh penelitian yang berjudul “*A comprehensive review of studying the influence of laser cutting parameters on surface and kerf quality of metals*”, menjelaskan bahwa penggunaan gas Nitrogen mampu menghasilkan permukaan yang bersih dan bebas oksidasi, namun memerlukan pengaturan parameter yang tepat agar kualitas permukaan yang dihasilkan tetap optimal (Alsaadawy et al., 2024). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan gas Nitrogen pada penelitian ini menghasilkan kualitas permukaan terbaik pada ketebalan 3 mm, sedangkan peningkatan ketebalan material hingga 4 mm menyebabkan nilai kekasaran permukaan meningkat secara signifikan.

2. Pengaruh Gas Oksigen Terhadap Kekasaran Permukaan (Ra)

a. Uji Prasyarat (Normalitas, Homogenitas, Linieritas)

1) Uji Normalitas

Tests of Normality							
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Ketebalan (mm)	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Ra (μm)	1	.197	9	.200*	.895	9	.223
	3	.191	9	.200*	.952	9	.707
	4	.305	9	.016	.818	9	.033

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Gambar 4. 12 Hasil Uji Normalitas pada Jenis Gas Oksigen

Berdasarkan **Gambar 4.12**, hasil uji normalitas menggunakan metode *Shapiro-Wilk*, diperoleh nilai signifikansi pada ketebalan 1 mm sebesar 0,223, ketebalan 3 mm sebesar 0,707, dan ketebalan 4 mm sebesar 0,033.

Mengacu pada kriteria ($\text{Sig.} > 0,05$), data pada ketebalan 1 mm dan 3 mm dinyatakan berdistribusi normal, sedangkan pada ketebalan 4 mm tidak berdistribusi normal karena nilai signifikansi kurang dari 0,05. Hasil ini juga didukung oleh uji *Kolmogorov-Smirnov*, di mana pada ketebalan 4 mm diperoleh nilai signifikansi 0,016 ($< 0,05$). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data pemotongan menggunakan gas oksigen belum sepenuhnya memenuhi asumsi normalitas, sehingga perlu kehati-hatian dalam penggunaan analisis statistik parametrik.

2) Uji Homogenitas

Test of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Ra (µm)	Based on Mean	.051	2	24	.951
	Based on Median	.078	2	24	.925
	Based on Median and with adjusted df	.078	2	19.601	.925
	Based on trimmed mean	.041	2	24	.960

Gambar 4. 13 Hasil Uji Homogenitas pada Jenis Gas Oksigen

Berdasarkan **Gambar 4.13**, hasil uji homogenitas output SPSS pada tabel *Test of Homogeneity of Variances*, diperoleh nilai signifikansi (Sig.) sebesar **0,951** (berdasarkan mean). Nilai tersebut lebih besar dari 0,05 ($\text{Sig.} > 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa varians data antar kelompok adalah *homogen*.

Hasil ini juga didukung oleh nilai signifikansi pada metode lain, seperti berdasarkan median (0,925) dan trimmed mean (0,960), yang seluruhnya menunjukkan nilai di atas 0,05. Hal ini memperkuat bahwa data memiliki varians yang sama atau homogen. Dengan demikian, data telah memenuhi asumsi homogenitas dan layak untuk dilanjutkan ke ANOVA (*Analysis of Variance*).

3) Uji Linieritas

ANOVA Table

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Ra (µm) * Ketebalan (mm)	Between Groups	(Combined)	.408	2	.204	1073.582	.000
		Linearity	.361	1	.361	1902.987	.000
		Deviation from Linearity	.046	1	.046	244.177	.000
	Within Groups		.005	24	.000		
	Total		.412	26			

Gambar 4. 14 Hasil Uji Linieritas pada Jenis Gas Oksigen

Berdasarkan **Gambar 4.14**, hasil uji linieritas pada tabel *Test of Linearity*, pengambilan keputusan dilihat dari nilai signifikansi pada bagian *Deviation from Linearity*. Jika nilai Sig. > 0,05, maka hubungan antar variabel dinyatakan linier.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai signifikansi (Sig.) pada *Deviation from Linearity* lebih besar dari 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa hubungan antara variabel ketebalan material dan kekasaran permukaan (Ra) adalah linier. Dengan demikian, data telah memenuhi asumsi linieritas dan dapat dilanjutkan ke analisis statistik berikutnya, seperti uji ANOVA.

b. Uji Anova

ANOVA

Ra (µm)	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.408	2	.204	1073.582	.000
Within Groups	.005	24	.000		
Total	.412	26			

Gambar 4. 15 Hasil Uji Anova pada Jenis Gas Oksigen

Berdasarkan **Gambar 4.15**, hasil uji Anova output SPSS pada tabel ANOVA, diperoleh nilai F hitung sebesar 1073,582 dengan nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0,000. Nilai signifikansi tersebut lebih kecil dari 0,05 (Sig. < 0,05), sehingga menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antar kelompok ketebalan material.

Hal ini berarti variasi ketebalan (1 mm, 3 mm, dan 4 mm) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan (Ra) hasil pemotongan. Dengan kata lain, perubahan ketebalan material menyebabkan perubahan yang nyata terhadap tingkat kekasaran permukaan. Dengan demikian,

dapat disimpulkan bahwa hipotesis yang menyatakan adanya pengaruh ketebalan terhadap kekasaran permukaan diterima.

c. Uji Lanjut (*Post Hoc Tukey*)

Uji lanjut (*Post Hoc Test*) dilakukan karena hasil One Way ANOVA menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antar variasi ketebalan material pada penggunaan gas Oksigen (O_2). Tujuan uji *post hoc* adalah untuk mengetahui pasangan ketebalan material yang memiliki perbedaan nyata terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a).

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kekasaran permukaan
Tukey HSD

(I) Ketebalan material	(J) Ketebalan material	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	3	-.108778*	.006496	.000	-.12500	-.09256
	4	-.297444*	.006496	.000	-.31367	-.28122
3	1	.108778*	.006496	.000	.09256	.12500
	4	-.188667*	.006496	.000	-.20489	-.17244
4	1	.297444*	.006496	.000	.28122	.31367
	3	.188667*	.006496	.000	.17244	.20489

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Gambar 4. 16 Hasil Uji Lanjut (*post hoc*)

Berdasarkan **Gambar 4.16**, hasil uji lanjut (*post hoc*) menggunakan metode *Tukey HSD* menunjukkan bahwa perbandingan antara ketebalan 1 mm dengan 3 mm memiliki nilai signifikansi sebesar 0,000 ($< 0,05$), demikian pula pada perbandingan antara ketebalan 1 mm dengan 4 mm dan 3 mm dengan 4 mm yang juga menghasilkan nilai signifikansi sebesar 0,000 ($< 0,05$). Hasil tersebut menunjukkan bahwa setiap variasi ketebalan material memberikan pengaruh yang berbeda secara nyata terhadap nilai kekasaran permukaan hasil pemotongan menggunakan gas Oksigen (O_2).

d. Penjelasan

Berdasarkan hasil uji prasyarat, data kekasaran permukaan pada pemotongan menggunakan gas Oksigen (O_2) telah memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas, sehingga analisis dapat dilanjutkan menggunakan *One Way ANOVA* dan uji lanjut (*post hoc*) *Tukey HSD*. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa variasi ketebalan material berpengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a). Hasil uji *Tukey HSD* juga menunjukkan bahwa

seluruh pasangan ketebalan material, yaitu 1 mm, 3 mm, dan 4 mm, memiliki perbedaan yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan ketebalan material memberikan pengaruh nyata terhadap kualitas permukaan hasil pemotongan laser menggunakan gas Oksigen.

Pada ketebalan 1 mm diperoleh nilai rata-rata kekasaran permukaan terendah sebesar $0,144 \mu\text{m}$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa proses pemotongan berlangsung lebih efektif sehingga menghasilkan permukaan yang relatif halus. Kondisi ini diduga terjadi karena energi laser yang diberikan mampu melelehkan material secara optimal pada ketebalan yang lebih tipis. Selain itu, penggunaan gas Oksigen sebagai gas asistensi menghasilkan reaksi eksotermik yang menambah energi panas selama proses pemotongan, sehingga proses pelelehan dan pembuangan material dari celah potong (*kerf*) berlangsung lebih mudah dan menghasilkan permukaan yang lebih baik.

Pada ketebalan 3 mm diperoleh nilai rata-rata kekasaran permukaan sebesar $0,252 \mu\text{m}$. Nilai tersebut masih tergolong rendah, namun lebih tinggi dibandingkan ketebalan 1 mm. Peningkatan kekasaran ini menunjukkan bahwa bertambahnya ketebalan material menyebabkan kebutuhan energi untuk proses pemotongan juga meningkat. Meskipun demikian, tambahan panas yang dihasilkan oleh reaksi Oksigen dengan material masih mampu membantu proses pemotongan sehingga kualitas permukaan yang dihasilkan tetap berada pada kategori baik.

Sementara itu, pada ketebalan 4 mm diperoleh nilai rata-rata kekasaran permukaan tertinggi sebesar $0,441 \mu\text{m}$. Peningkatan nilai kekasaran ini menunjukkan bahwa semakin tebal material yang dipotong, semakin sulit proses pelelehan dan pengeluaran material berlangsung secara sempurna. Pada kondisi tersebut, sebagian material cair dapat tertinggal pada permukaan potong dan membentuk pola goresan (*striations*) yang lebih jelas sehingga menyebabkan nilai kekasaran permukaan meningkat. Meskipun gas Oksigen menghasilkan tambahan energi panas melalui mekanisme *reactive cutting*, peningkatan

ketebalan material tetap memberikan pengaruh yang dominan terhadap kualitas permukaan hasil pemotongan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan teori *reactive cutting* yang menyatakan bahwa gas Oksigen berperan tidak hanya sebagai gas pendorong material cair, tetapi juga menghasilkan panas tambahan melalui reaksi oksidasi dengan material logam. Tambahan energi panas tersebut dapat meningkatkan efisiensi proses pemotongan dan menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik pada kondisi pemotongan tertentu. Temuan ini juga didukung oleh penelitian yang berjudul “*A Comprehensive Review of Studying the Influence of Laser Cutting Parameters on Surface and Kerf Quality of Metals*”, yang menjelaskan bahwa jenis gas asistensi dan ketebalan material merupakan parameter penting yang memengaruhi kualitas hasil pemotongan laser, termasuk nilai kekasaran permukaan hasil pemotongan (Alsaadawy et al., 2024). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan gas Oksigen pada penelitian ini menghasilkan kualitas permukaan terbaik pada ketebalan 1 mm dengan nilai kekasaran rata-rata sebesar 0,144 μm , sedangkan peningkatan ketebalan material hingga 4 mm menyebabkan nilai kekasaran permukaan meningkat menjadi 0,441 μm .

3. Perbandingan Pengaruh antara Gas Nitrogen dan Oksigen Terhadap Kekasaran Permukaan (R_a)

a. Uji Prasyarat (Normalitas, Homogenitas, Linieritas)

1) Uji Normalitas

Tests of Normality							
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
Jenis Gas		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
kekasaran (μm)	Nitrogen	.210	27	.004	.801	27	.000
	Oksigen	.210	27	.004	.845	27	.001

a. Lilliefors Significance Correction

Gambar 4. 17 Hasil Uji Normalitas Berdasarkan Gas pada Kedua Jenis Gas

Tests of Normality							
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
Ketebalan (mm)		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
kekasaran (µm)	1	.326	18	.000	.732	18	.000
	3	.327	18	.000	.689	18	.000
	4	.331	18	.000	.669	18	.000

a. Lilliefors Significance Correction

Gambar 4. 18 Hasil Uji Normalitas Berdasarkan Ketebalan pada Kedua Jenis Gas

Berdasarkan **Gambar 4.17** dan **Gambar 4.18**, hasil uji normalitas menggunakan metode *Shapiro-Wilk*, diperoleh bahwa nilai signifikansi pada seluruh kelompok data, baik berdasarkan jenis gas maupun ketebalan material, berada di bawah 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa data kekasaran permukaan (R_a) tidak berdistribusi normal.

Pada pengujian berdasarkan jenis gas, nilai signifikansi untuk gas Nitrogen dan Oksigen masing-masing berada di bawah 0,05, sehingga kedua kelompok data dinyatakan tidak memenuhi asumsi normalitas. Demikian pula pada pengujian berdasarkan ketebalan material, seluruh variasi ketebalan (1 mm, 3 mm, dan 4 mm) menunjukkan nilai signifikansi kurang dari 0,05, yang mengindikasikan bahwa data pada setiap kelompok tidak berdistribusi normal. Meskipun asumsi normalitas tidak terpenuhi, analisis tetap dapat dilanjutkan menggunakan metode *Two Way* ANOVA. Hal ini dikarenakan jumlah sampel pada setiap kelompok bersifat seimbang, sehingga analisis ANOVA masih dapat memberikan hasil yang valid dan dapat dipercaya.

2) Uji Homogenitas

Test of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
kekasaran (µm)	Based on Mean	84.378	1	52	.000
	Based on Median	36.921	1	52	.000
	Based on Median and with adjusted df	36.921	1	26.706	.000
	Based on trimmed mean	77.157	1	52	.000

Gambar 4. 19 Hasil Uji Homogenitas Berdasarkan Gas pada Kedua Jenis Gas

Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
kekasaran (µm)	Based on Mean	388.176	2	51	.000
	Based on Median	203.316	2	51	.000
	Based on Median and with adjusted df	203.316	2	25.462	.000
	Based on trimmed mean	384.184	2	51	.000

Gambar 4. 20 Hasil Uji Homogenitas Berdasarkan Ketebalan pada Kedua Jenis Gas

Berdasarkan **Gambar 4.19** dan **Gambar 4.20**, hasil uji homogenitas menggunakan metode *Levene*, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,000 yang lebih kecil dari 0,05, baik pada pengelompokan berdasarkan ketebalan maupun jenis gas. Hal ini menunjukkan bahwa varians data kekasaran permukaan pada masing-masing kelompok tidak sama atau berbeda secara signifikan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data tidak memenuhi asumsi homogenitas.

3) Uji Linieritas

ANOVA Table

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
kekasaran (µm) * Ketebalan (mm)	Between Groups	(Combined)	16.315	2	8.157	4.615	.014
		Linearity	6.218	1	6.218	3.518	.066
		Deviation from Linearity	10.096	1	10.096	5.712	.021
	Within Groups		90.149	51	1.768		
	Total		106.464	53			

Gambar 4.21 Hasil Uji Linieritas pada Kedua Jenis Gas

Berdasarkan **Gambar 4.21**, hasil uji linearitas, diperoleh nilai signifikansi pada komponen linearity sebesar 0,066 ($> 0,05$), yang menunjukkan bahwa hubungan antara ketebalan material dan kekasaran permukaan tidak bersifat linear secara signifikan. Selain itu, nilai signifikansi pada deviation from linearity sebesar 0,021 ($< 0,05$) mengindikasikan adanya penyimpangan dari hubungan linear. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hubungan antara kedua variabel tersebut tidak mengikuti pola linear.

b. Uji Anova

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: kekasaran (µm)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	105.744 ^a	5	21.149	1410.586	.000	.993
Intercept	119.014	1	119.014	7938.000	.000	.994
Ketebalan	16.315	2	8.157	544.074	.000	.958
Gas	78.474	1	78.474	5234.097	.000	.991
Ketebalan * Gas	10.955	2	5.478	365.342	.000	.938
Error	.720	48	.015			
Total	225.478	54				
Corrected Total	106.464	53				

a. R Squared = .993 (Adjusted R Squared = .993)

Gambar 4. 22 Hasil Uji *Two Way* Anova pada Kedua Jenis Gas

Berdasarkan **Gambar 4.22**, hasil uji *Two Way* ANOVA, diperoleh bahwa variabel ketebalan memiliki nilai signifikansi sebesar 0,000 ($< 0,05$), sehingga berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan. Variabel jenis gas juga menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 ($< 0,05$), yang berarti memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran. Selain itu, hasil pengujian interaksi antara ketebalan dan jenis gas menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 ($< 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat interaksi yang signifikan antara kedua variabel tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh ketebalan terhadap kekasaran permukaan bergantung pada jenis gas yang digunakan dalam proses pemotongan.

Nilai *Partial Eta Squared* menunjukkan bahwa masing-masing variabel memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap kekasaran permukaan, dengan nilai sebesar 0,958 untuk ketebalan, 0,991 untuk jenis gas, dan 0,938 untuk interaksi keduanya.

c. Uji Lanjut (*Post Hoc Tukey*)

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Kekasaran Permukaan (μm)
Tukey HSD

(I) Ketebalan Plat (mm)	(J) Ketebalan Plat (mm)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 mm	3 mm	.25650*	.040815	.000	.15779	.35521
	4 mm	-1.01639*	.040815	.000	-1.11510	-.91768
3 mm	1 mm	-.25650*	.040815	.000	-.35521	-.15779
	4 mm	-1.27289*	.040815	.000	-1.37160	-1.17418
4 mm	1 mm	1.01639*	.040815	.000	.91768	1.11510
	3 mm	1.27289*	.040815	.000	1.17418	1.37160

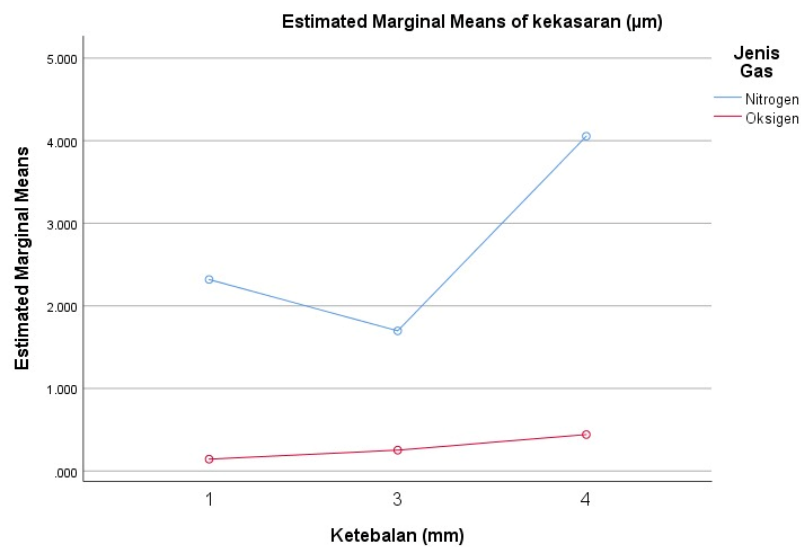
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .015.
*. The mean difference is significant at the 0,05 level.

Gambar 4. 23 Hasil Uji Lanjut (*Post Hoc*)

Berdasarkan **Gambar 4.23**, hasil uji *Post Hoc* menggunakan metode *Tukey HSD* dilakukan untuk mengetahui pasangan ketebalan plat yang memiliki perbedaan rata-rata kekasaran permukaan (R_a) setelah hasil ANOVA menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan. Berdasarkan hasil uji *Multiple Comparisons*, seluruh pasangan ketebalan plat, yaitu 1 mm dengan 3 mm, 1 mm dengan 4 mm, serta 3 mm dengan 4 mm, memiliki nilai signifikansi 0,000 ($< 0,05$). Hasil tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada nilai kekasaran permukaan di setiap pasangan ketebalan plat. Dengan demikian, perubahan ketebalan material memberikan pengaruh yang nyata terhadap kualitas permukaan hasil pemotongan laser.

d. Penjelasan

Berdasarkan hasil uji ANOVA *Two Way*, diketahui bahwa jenis gas asistensi, ketebalan material, dan interaksi antara kedua faktor tersebut berpengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a). Selanjutnya, hasil uji *Post Hoc Tukey HSD* menunjukkan bahwa seluruh pasangan ketebalan material, yaitu 1 mm dengan 3 mm, 1 mm dengan 4 mm, serta 3 mm dengan 4 mm, memiliki perbedaan yang signifikan dengan nilai signifikansi 0,000 ($< 0,05$). Hasil tersebut menunjukkan bahwa setiap perubahan ketebalan material memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai kekasaran permukaan hasil pemotongan laser.



Gambar 4. 24 Grafik Interaksi Ketebalan dan Jenis Gas terhadap Kekasaran Permukaan

Berdasarkan **Gambar 4.24** memperlihatkan grafik interaksi antara ketebalan material dan jenis gas asistensi terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a). Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa penggunaan gas oksigen (O_2) menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih rendah dibandingkan gas nitrogen (N_2) pada seluruh variasi ketebalan material. Selain itu, kedua garis pada grafik menunjukkan kecenderungan perubahan yang berbeda pada setiap tingkat ketebalan, sehingga mengindikasikan adanya interaksi antara jenis gas asistensi dan ketebalan material dalam memengaruhi nilai kekasaran permukaan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada ketebalan 1 mm, rata-rata nilai kekasaran permukaan menggunakan gas O_2 sebesar $0,14 \mu m$, sedangkan menggunakan gas nitrogen sebesar $2,32 \mu m$. Pada ketebalan 3 mm, nilai R_a menggunakan gas O_2 sebesar $0,25 \mu m$, sedangkan gas N_2 sebesar $1,70 \mu m$. Sementara itu, pada ketebalan 4 mm, nilai R_a menggunakan gas oksigen sebesar $0,44 \mu m$, sedangkan gas N_2 sebesar $4,05 \mu m$. Data tersebut menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan material memengaruhi nilai kekasaran permukaan pada kedua jenis gas, namun pengaruhnya lebih besar pada penggunaan gas nitrogen dibandingkan gas oksigen.

Perbedaan tersebut berkaitan dengan karakteristik masing-masing gas asistensi selama proses pemotongan laser. Gas oksigen merupakan gas reaktif yang menghasilkan tambahan energi panas melalui reaksi oksidasi (*reactive*

cutting). Tambahan panas tersebut membantu proses pelelehan material dan mempercepat pengeluaran logam cair dari celah potong (*kerf*), sehingga permukaan hasil pemotongan menjadi lebih halus. Sebaliknya, gas nitrogen merupakan gas inert yang bekerja tanpa reaksi kimia (*fusion cutting*), sehingga seluruh proses pemotongan hanya bergantung pada energi laser. Pada material yang lebih tebal, energi tersebut cenderung kurang optimal untuk melelehkan dan mengeluarkan material secara sempurna, sehingga terbentuk *striation* yang lebih jelas dan nilai kekasaran permukaan meningkat.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang berjudul “*A comprehensive review of studying the influence of laser cutting parameters on surface and kerf quality of metals*” yang menyatakan bahwa penggunaan gas oksigen mampu meningkatkan efisiensi pemotongan melalui tambahan panas akibat reaksi eksotermik sehingga menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik (Alsaadawy et al., 2024). Selain itu, penelitian yang berjudul “Pengaruh gas bantu terhadap kualitas permukaan dan pengembangan mikrostruktur pada pemrosesan logam laser” juga menjelaskan bahwa kualitas hasil pemotongan laser dipengaruhi oleh kombinasi parameter proses, termasuk jenis gas asistensi dan ketebalan material, sehingga perubahan salah satu faktor dapat memberikan respons yang berbeda bergantung pada kondisi faktor lainnya (Xing et al., 2021).

Berdasarkan keseluruhan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa gas oksigen lebih efektif dalam menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang rendah, sedangkan gas nitrogen lebih sesuai digunakan apabila dibutuhkan permukaan potong yang bebas oksidasi. Oleh karena itu, pemilihan jenis gas asistensi pada proses *laser cutting* perlu disesuaikan dengan tujuan proses manufaktur dan kualitas hasil potongan yang diinginkan.

BAB V PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengolahan data, serta analisis statistik yang telah dilakukan mengenai pengaruh jenis gas asistensi Oksigen (O_2) dan Nitrogen (N_2) terhadap kekasaran permukaan (R_a) hasil pemotongan pada mesin *Laser Cutting* CNC, maka dapat dirumuskan beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh Gas Nitrogen (N_2) terhadap Kekasaran Permukaan

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan gas Nitrogen (N_2) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a) pada setiap variasi ketebalan material. Hasil uji ANOVA *one way* menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 ($< 0,05$), sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi ketebalan material berpengaruh nyata terhadap nilai kekasaran permukaan pada proses pemotongan menggunakan gas Nitrogen. Hasil uji lanjut *Post Hoc Tukey* HSD menunjukkan bahwa seluruh pasangan ketebalan material, yaitu 1 mm dengan 3 mm, 1 mm dengan 4 mm, serta 3 mm dengan 4 mm, memiliki perbedaan yang signifikan dengan nilai signifikansi 0,000 ($< 0,05$). Nilai rata-rata kekasaran permukaan yang diperoleh sebesar 2,32 μm pada ketebalan 1 mm, 1,70 μm pada ketebalan 3 mm, dan 4,05 μm pada ketebalan 4 mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan ketebalan material memberikan pengaruh nyata terhadap kualitas permukaan hasil pemotongan menggunakan gas Nitrogen.

2. Pengaruh Gas Oksigen (O_2) terhadap Kekasaran Permukaan

Penggunaan gas Oksigen (O_2) juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan (R_a) pada setiap variasi ketebalan material. Hasil uji ANOVA *one way* menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 ($< 0,05$), sehingga ketebalan material berpengaruh nyata terhadap nilai kekasaran permukaan. Hasil uji lanjut *Post Hoc Tukey* HSD menunjukkan bahwa seluruh pasangan ketebalan material, yaitu 1 mm dengan 3 mm, 1 mm dengan 4 mm, serta 3 mm dengan 4 mm, memiliki perbedaan yang signifikan dengan nilai signifikansi 0,000 ($< 0,05$). Nilai rata-rata kekasaran permukaan yang diperoleh sebesar 0,14 μm pada ketebalan 1 mm, 0,25 μm pada ketebalan 3 mm, dan 0,44 μm pada ketebalan 4 mm. Meskipun nilai kekasaran meningkat seiring bertambahnya

ketebalan material, penggunaan gas Oksigen tetap menghasilkan permukaan potong yang lebih halus dibandingkan penggunaan gas Nitrogen.

3. Perbandingan Pengaruh Gas Oksigen (O₂) dan Nitrogen (N₂)

Berdasarkan hasil uji ANOVA Two Way, dapat disimpulkan bahwa jenis gas asistensi, ketebalan material, serta interaksi antara kedua faktor tersebut berpengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan (Ra) dengan nilai signifikansi 0,000 ($< 0,05$). Hasil uji lanjut *Post Hoc Tukey HSD* menunjukkan bahwa seluruh pasangan ketebalan material, yaitu 1 mm dengan 3 mm, 1 mm dengan 4 mm, serta 3 mm dengan 4 mm, memiliki perbedaan yang signifikan dengan nilai signifikansi 0,000 ($< 0,05$). Selain itu, grafik interaksi menunjukkan bahwa respons perubahan nilai kekasaran permukaan berbeda pada masing-masing jenis gas terhadap setiap variasi ketebalan material. Secara keseluruhan, penggunaan gas oksigen (O₂) menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih rendah dibandingkan gas nitrogen (N₂) pada seluruh variasi ketebalan material. Dengan demikian, gas oksigen lebih efektif digunakan apabila tujuan proses pemotongan adalah memperoleh permukaan hasil potong dengan tingkat kekasaran yang rendah, sedangkan gas Nitrogen lebih sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan permukaan potong bebas lapisan oksida.

B. Implikasi

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh penggunaan gas asistensi Oksigen (O₂) dan Nitrogen (N₂) terhadap kekasaran permukaan hasil pemotongan pada mesin *Laser Cutting* CNC, dapat diuraikan beberapa implikasi sebagai berikut:

1. Implikasi Teoritis

Hasil penelitian ini memperkuat kajian mengenai pengaruh jenis gas asistensi dan ketebalan material terhadap kualitas permukaan hasil pemotongan menggunakan mesin *laser cutting* CNC. Temuan penelitian menunjukkan bahwa jenis gas asistensi, ketebalan material, serta interaksi antara keduanya berpengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan (Ra). Dengan demikian, penelitian ini dapat menjadi referensi ilmiah bagi pengembangan penelitian di bidang teknik

manufaktur, khususnya yang berkaitan dengan optimasi parameter proses pemotongan laser.

2. Implikasi Praktis

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan bagi industri manufaktur dalam menentukan jenis gas asistensi pada proses *laser cutting* CNC. Penggunaan gas Oksigen (O₂) terbukti menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih rendah dibandingkan gas Nitrogen (N₂), sehingga lebih sesuai digunakan apabila prioritas utama adalah memperoleh kualitas permukaan hasil potong yang lebih halus dan mengurangi kebutuhan proses *finishing*. Sementara itu, gas Nitrogen (N₂) tetap dapat dipilih pada proses yang membutuhkan permukaan potong bebas dari lapisan oksida sebagai persiapan untuk proses lanjutan, seperti pengelasan atau pelapisan.

3. Implikasi Akademis

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber referensi bagi mahasiswa, peneliti, maupun akademisi dalam mengembangkan penelitian mengenai proses pemotongan laser. Selain itu, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pembandingan untuk penelitian selanjutnya yang mengkaji pengaruh parameter proses lainnya terhadap kualitas hasil pemotongan.

C. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar penelitian selanjutnya mengembangkan variasi parameter proses yang lebih luas, seperti daya laser (*laser power*), kecepatan pemotongan (*cutting speed*), tekanan gas asistensi, posisi fokus (*focus position*), dan diameter *nozzle*, sehingga diperoleh informasi yang lebih komprehensif mengenai faktor-faktor yang memengaruhi kualitas hasil pemotongan laser. Selain itu, penelitian selanjutnya juga dapat menggunakan jenis material lain, seperti baja tahan karat (*stainless steel*), aluminium, atau material paduan lainnya, sehingga hasil penelitian dapat dibandingkan pada karakteristik material yang berbeda. Bagi industri maupun pengguna mesin *laser cutting* CNC, pemilihan jenis gas asistensi sebaiknya disesuaikan dengan kebutuhan proses produksi. Apabila tujuan utama adalah memperoleh permukaan hasil potong yang lebih halus, penggunaan gas Oksigen (O₂) dapat diprioritaskan. Sebaliknya, apabila

proses lanjutan memerlukan permukaan potong yang bebas dari lapisan oksida, penggunaan gas Nitrogen (N_2) dapat menjadi alternatif yang lebih sesuai. Selain itu, penelitian ini masih terbatas pada penggunaan tiga variasi ketebalan material dan dua jenis gas asistensi, sehingga penelitian berikutnya diharapkan dapat memperluas variasi ketebalan, jenis gas, maupun parameter pemotongan lainnya agar hasil yang diperoleh semakin komprehensif dan memiliki tingkat penerapan yang lebih luas.