

Pengaruh *Gas Pressure* dan *Laser Power* pada Proses *Fiber Laser Cutting* terhadap Kekasaran Permukaan Material Baja AISI 1040 Ketebalan 6mm

Richi Febrianto^{1, *}, Sibut¹

¹ Program Studi Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Malang

Kata kunci

Fiber laser cutting
Gas pressure
Laser power
Kekasaran permukaan
Baja AISI 1040

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi *gas pressure* dan *laser power* pada proses *fiber laser cutting* terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1040 dengan ketebalan 6mm. Metode penelitian menggunakan eksperimental nyata dengan variasi *gas pressure* (1 bar, 1,5 bar, 2 bar) dan *laser power* (1200W, 1350W, 1500W). Parameter terkontrol meliputi kecepatan pemotongan 500 mm/menit, fokus lensa +5, diameter nozzle 1,5 mm, dan gas oksigen. Pengujian kekasaran permukaan dilakukan menggunakan *Surface Roughness Tester* Mitutoyo SRT-6210 sesuai standar ISO 4287:1997 dengan parameter Ra, Rz, Rq, dan Rt. Hasil penelitian menunjukkan kombinasi parameter *gas pressure* 1 bar dan *laser power* 1200W menghasilkan kekasaran permukaan terbaik dengan nilai Ra 11,18 μm , Rz 31,54 μm , Rq 8,976 μm , dan Rt 33,03 μm . Sebaliknya, kombinasi *gas pressure* 2 bar dan *laser power* 1500W menghasilkan kekasaran terburuk dengan Ra 28,10 μm . Peningkatan *gas pressure* dan *laser power* cenderung meningkatkan kekasaran permukaan. Parameter optimal memberikan hasil kekasaran kategori N9 (sedang) menurut standar ISO 4287:1997.

* **Corresponding author:**
Richi Febrianto (email: 28richiefebrianto@gmail.com)

Diterima: 11 Agustus 2025

Disetujui: 12 September 2025

Dipublikasikan: 11 November 2025

1 Pendahuluan

Industri manufaktur modern membutuhkan peningkatan kualitas produk berbasis *sheet metal*, sehingga metode *laser cutting* CNC menjadi solusi efektif untuk pemotongan cepat dan presisi pada material keras dan berpola rumit [1]. Teknologi *laser cutting* bekerja dengan mengarahkan sinar *laser* berdaya tinggi melalui sistem optik dan dikontrol secara presisi menggunakan sistem *computer numerical control (CNC)* untuk menghasilkan pemotongan energi tinggi pada area kecil [2].

Fiber laser cutting sebagai pengembangan teknologi *laser cutting* memanfaatkan *fiber optik* yang didoping *rare earth* seperti *ytterbium* untuk menghasilkan sinar laser melalui prinsip *stimulated emission* [3]. Sistem ini mengubah energi listrik menjadi cahaya yang diarahkan melalui serat optik dan difokuskan ke permukaan material untuk membentuk *kerf* secara presisi [4]. Proses ini melibatkan penyerapan energi laser oleh material hingga mencapai titik leleh yang menyebabkan pelelehan dan sebagian penguapan material [5].

Proses *laser cutting* dalam industri manufaktur menghadapi tantangan berupa kecacatan pemotongan yang menyebabkan permukaan kasar atau material tidak terpotong sempurna sehingga menurunkan kualitas produk akhir. Hal ini sangat berkaitan dengan pengaturan parameter proses yang mempengaruhi hasil pemotongan, seperti titik *gas pressure*, dan *cutting speed* [6]. Kecepatan pemotongan menjadi parameter kritis dimana untuk mencapai kekasaran minimum diperlukan laju pemotongan yang lebih lambat dengan waktu lebih lama,

sebaliknya kecepatan terlalu tinggi akan menghasilkan kekasaran tinggi karena sinar laser tidak memiliki waktu cukup untuk memotong material secara optimal.

Baja AISI 1040 sebagai baja karbon sedang yang umum digunakan dalam industri memerlukan kontrol parameter *laser cutting* seperti *gas pressure* dan *laser power* untuk menjaga kualitas permukaan potong. Tekanan gas berfungsi membantu proses pemotongan sekaligus membersihkan material sisa, di mana tekanan optimal mampu meningkatkan efisiensi dan menurunkan kekasaran permukaan [2]. Kekasaran permukaan yang mengacu pada ISO 4287:1997 merupakan ketidakrataan geometris mikro yang diukur dengan parameter *Ra*, *Rz*, *Rq*, dan *Rt*, dan sangat mempengaruhi kualitas produk akhir karena dapat menurunkan kekuatan serta ketahanan korosi material. Oleh karena itu, analisis terhadap kekasaran sangat penting agar hasil pemotongan baja AISI 1040 sesuai dengan standar mutu industri [7]. Namun, penelitian mengenai pengaruh kombinasi tekanan gas dan daya laser terhadap kekasaran permukaan pada baja tipe AISI 1040 masih sangat minim.

Berdasarkan uraian sebelumnya mengenai masalah kecacatan pemotongan dan kesenjangan penelitian pada baja AISI 1040, studi ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana *gas pressure* dan *laser power* berperan dalam proses pemotongan laser fiber terkait kekasaran permukaan baja AISI 1040 dengan tujuan spesifik mengetahui parameter terbaik dari variasi *gas pressure* dan *laser power* terhadap kekasaran permukaan pada material AISI 1040 serta mengetahui kategori kekasaran permukaan baja AISI 1040 menurut standar yang digunakan.

Mengingat pentingnya optimasi parameter dalam mencapai kualitas permukaan yang optimal, maka hipotesis penelitian yang diajukan yaitu sebagai berikut.

H0 = Tidak adanya pengaruh *gas pressure* dan *laser power* terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1040

H1 = Adanya pengaruh *gas pressure* dan *laser power* terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1040

2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental nyata (*true experimental research*) untuk meneliti pengaruh *gas pressure* dan *laser power* pada proses *laser cutting* terhadap kekasaran permukaan material baja AISI 1040. Proses pemotongan dilakukan di Laboratorium Manufaktur ITN Malang, sedangkan pengujian kekasaran dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Polinema pada Desember 2024. Penelitian menggunakan rancangan faktorial 3×3 dengan variabel bebas, yaitu *gas pressure* (1, 1,5, dan 2 bar) dan *laser power* (1200W, 1350W, dan 1500W) dengan 9 kombinasi perlakuan. Setiap kombinasi diulang tiga kali untuk meningkatkan reliabilitas. Variabel terikat yang diukur adalah kekasaran permukaan (μm). Parameter yang divariasikan hanya tekanan gas dan daya laser, sedangkan parameter lain seperti kecepatan potong (500 mm/menit), fokus lensa (+5), diameter nozzle (1,5 mm), dan jenis gas (oksigen) dijaga tetap untuk menghindari bias.

Baja AISI 1040 setebal 6 mm digunakan sebagai bahan utama karena sifat lasnya yang baik dan penggunaannya luas di industri. Material awal dipotong menjadi lembaran 12×12 cm, lalu diubah menjadi spesimen berukuran 5×5 cm menggunakan mesin *laser cutting* sesuai parameter dalam rancangan penelitian. Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu mesin *laser cutting* untuk pemotongan material dan *surface roughness tester* untuk pengujian kekasaran permukaan.



Gambar 1 Mesin *Laser Cutting*.



Gambar 2 *Surface Roughness Tester*

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran langsung kekasaran permukaan pada setiap spesimen hasil pemotongan laser. Pengukuran dilakukan pada tiga titik berbeda di sepanjang sisi potong dengan jarak minimal 5 mm antar titik. Titik pertama berada 1 cm dari tepi, titik kedua di tengah, dan titik ketiga 1 cm dari tepi berlawanan. Setiap pengukuran diulang tiga kali untuk memastikan konsistensi data.

Prosedur penelitian ini dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Menyiapkan material baja AISI 1040 berukuran 12×12 cm sebanyak 3 spesimen induk.
2. Mengatur mesin *fiber laser cutting* sesuai parameter yang telah ditentukan.
3. Memotong menjadi 9 spesimen uji berukuran 5×5 cm dengan variasi *gas pressure* dan *laser power*.
4. Memberi kode pada setiap spesimen berdasarkan kombinasi parameter.
5. Menandai spesimen untuk identifikasi saat pengujian.
6. Meletakkan spesimen pada *surface roughness tester* yang telah dikalibrasi.
7. Menempatkan *stylus* tegak lurus dan memindai sepanjang *cut off length* 0,8 mm.
8. Mencatat data kekasaran permukaan pada setiap titik pengukuran.
9. Mengulangi proses pengujian untuk seluruh spesimen dengan kondisi lingkungan yang terkontrol.

Teknik analisis data menggunakan pendekatan statistik tiga tahapan dengan tingkat kepercayaan yang dimulai dengan uji normalitas menggunakan uji *Shapiro-Wilk* untuk mengetahui distribusi data kekasaran permukaan karena ukuran sampel yang relatif kecil ($n < 50$). Kemudian, pengujian homogenitas varian menggunakan uji Levene untuk mengetahui homogenitas varian antar kelompok perlakuan yang lebih robust terhadap penyimpangan normalitas. Terakhir, uji hipotesis utama menggunakan uji *Kruskal-Wallis* sebagai alternatif non-parametrik untuk menganalisis perbedaan kekasaran permukaan antar kelompok perlakuan tanpa asumsi distribusi normal. Seluruh analisis statistik dilakukan menggunakan software statistik untuk memastikan akurasi perhitungan dan interpretasi hasil.

3 Hasil dan Pembahasan

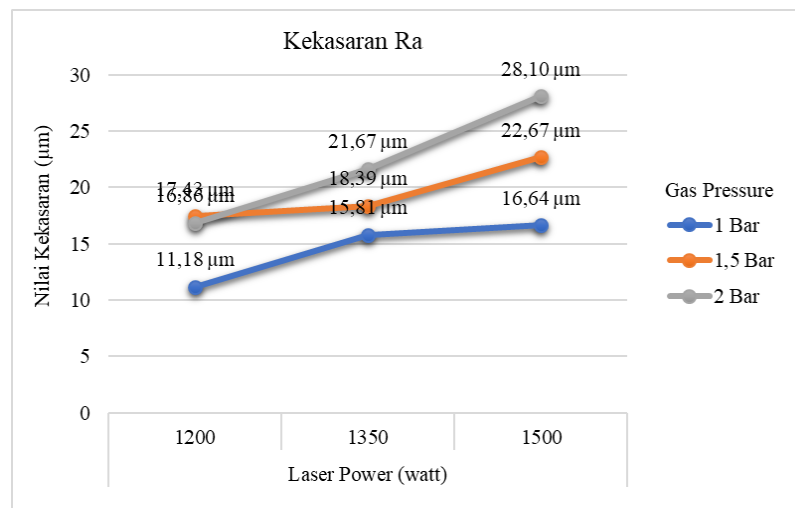
3.1 Data Hasil Pengujian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi *gas pressure* dan *laser power* pada proses pemotongan menggunakan *fiber laser cutting* terhadap kekasaran permukaan (*surface roughness*) baja AISI 1040 dengan ketebalan 6 mm. Pengujian dilakukan dengan variasi parameter yaitu *Gas pressure* (1 bar, 1,5 bar, dan 2 bar) dan *Laser power* (1200 W, 1350 W, dan 1500 W). Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan menggunakan *Surface Roughness Tester* (Mitutoyo SRT-6210) dengan *cutoff length* 2,5 mm sesuai standar ISO 4287:1997 [8]. Pada setiap spesimen, dipilih 3 titik pengukuran yang berbeda dengan jarak minimum 5 mm untuk memastikan independensi data. Parameter *Ra* (*Arithmetic Average Roughness*) memberikan informasi rata-rata aritmatik penyimpangan profil, parameter *Rz* (*Maximum Height of Roughness Profile*) menunjukkan tinggi maksimum profil kekasaran, parameter *Rq* (*Root Mean Square Roughness*) memberikan nilai akar kuadrat rata-rata penyimpangan, dan parameter *Rt* (*Total Height of Roughness Profile*) menunjukkan tinggi total profil kekasaran.

Table 1 Data Hasil Kekasaran Permukaan

Spesimen	Tekanan gas (Bar)	Laser power (watt)	Ra (μm)	Rz (μm)	Rq (μm)	Rt (μm)
1A	1	1200	11,18	31,54	8,976	33,03
1B	1	1350	15,81	42,84	15,52	43,55
1C	1	1500	16,64	46,10	16,79	46,74
2A	1,5	1200	17,43	48,74	17,47	49,06
2B	1,5	1350	18,39	51,33	18,60	51,90
2C	1,5	1500	22,67	63,63	22,34	69,03
3A	2	1200	16,86	47,10	17,21	47,71
3B	2	1350	21,67	60,87	21,94	61,43
3C	2	1500	28,10	78,90	30,56	83,42

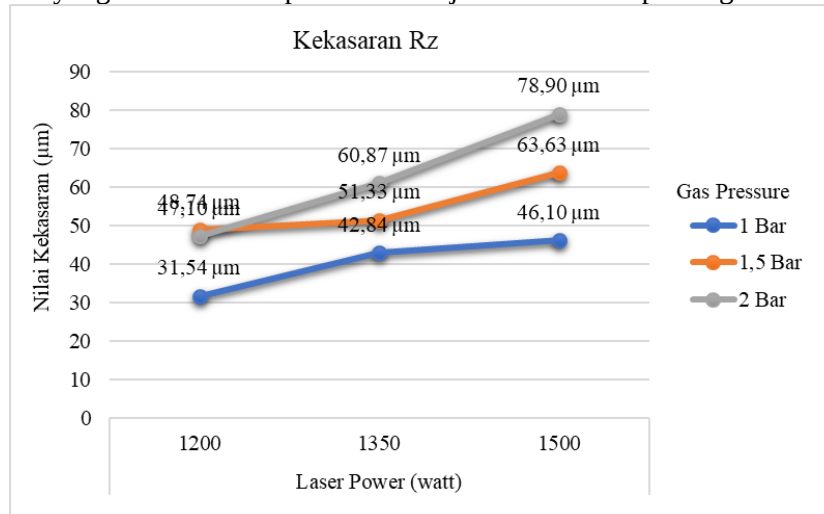
Parameter *Ra* (*Arithmetic Average Roughness*) merupakan deviasi rata-rata aritmatika profil permukaan terhadap garis tengah, dihitung dalam panjang *sampling* sesuai standar ISO 4287:1997. Nilai *Ra* digunakan sebagai indikator umum untuk menilai amplitudo kekasaran permukaan, terutama pada permukaan acak hasil proses pemesinan tanpa pola teratur. Berikut merupakan grafik rata-rata nilai kekasaran permukaan *Ra* untuk setiap variasi parameter.



Gambar 3 Grafik Rata-Rata Kekasaran Permukaan Ra (μm).

Berdasarkan Gambar 5, nilai *Ra* terendah sebesar 11,18 μm diperoleh pada spesimen 1A dengan kombinasi *gas pressure* 1 bar dan *laser power* 1200 W, menunjukkan keseimbangan optimal antara tekanan gas rendah dan daya laser sedang sehingga menghasilkan permukaan lebih halus [9]. Sebaliknya, spesimen 3C dengan kombinasi *gas pressure* 2 bar dan *laser power* 1500W menghasilkan *Ra* tertinggi sebesar 28,10 μm akibat panas berlebih dan turbulensi gas yang mengganggu kestabilan *melt pool*. Penelitian Sivarao tahun 2014 pada *mild steel* yang menyatakan bahwa daya laser tinggi dapat menyebabkan *overheating* dan menurunkan kualitas permukaan potong baja lunak. Peningkatan *gas pressure* dari 1 bar ke 2 bar pada setiap level *laser power* secara konsisten meningkatkan kekasaran permukaan. Nilai *Ra* 11,18 μm sudah memenuhi syarat untuk roda gigi presisi rendah (kelas 10–12) sesuai standar industri (*Ra* 6,3–25 μm), seperti pada mesin konstruksi dan peralatan berat. Namun, untuk mencapai standar presisi lebih tinggi, dibutuhkan proses *finishing* tambahan seperti *grinding* atau *superfinishing*. Berdasarkan klasifikasi ISO 4287:1997, nilai *Ra* 11,18 μm termasuk kategori N9 (sedang), sedangkan 28,10 μm termasuk kategori N12 (sangat kasar).

Selanjutnya, pengujian kekasaran puncak ke lembah (*Rz*) untuk menilai perbedaan tinggi maksimum antara titik tertinggi dan titik terendah pada permukaan hasil pemotongan. Nilai *Rz* memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kondisi yang tidak stabil di permukaan baja. Berikut merupakan grafik dari parameter *Rz*.

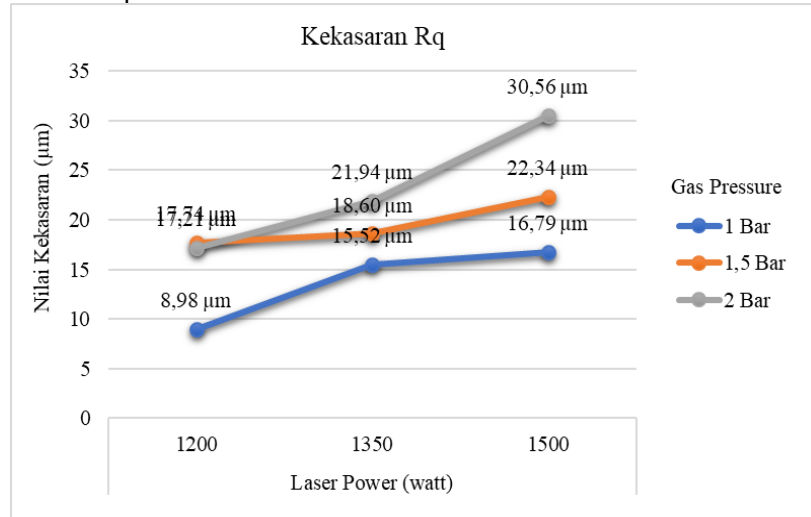


Gambar 4 Grafik Rata-Rata Kekasaran Permukaan Rz (μm).

Berdasarkan gambar 6, hasil pengujian menunjukkan nilai *Rz* hasil pengujian berkisar antara 31,54 μm hingga 78,90 μm. Nilai terendah terdapat pada spesimen 1A (*gas pressure* 1 bar dan *laser power* 1200W), menunjukkan stabilitas pemotongan dan variasi puncak-lembah yang minim, sehingga menghasilkan permukaan yang baik. Sebaliknya, nilai *Rz* tertinggi sebesar 78,90 μm diperoleh pada spesimen 3C dengan kombinasi *gas pressure* 2 bar dan *laser power* 1500W, mengindikasikan adanya *severe surface irregularities* akibat *excessive energy input* dan *high gas pressure*. Kondisi ini menyebabkan *melt pool* menjadi tidak stabil dan terbentuknya *surface defects* (cacat permukaan) seperti *dross attachment* dan *ripple marks*. Penelitian Johnson menunjukkan

bahwa parameter Rz sangat sensitif terhadap perubahan *cutting parameters* pada material dengan ketebalan sedang (5-10 mm) [10]. Peningkatan *gas pressure* dari 1 bar ke 2 bar pada *laser power* tinggi dapat meningkatkan Rz hingga 150%, sesuai dengan temuan penelitian ini yang menunjukkan peningkatan signifikan pada kombinasi parameter *ekstrem*.

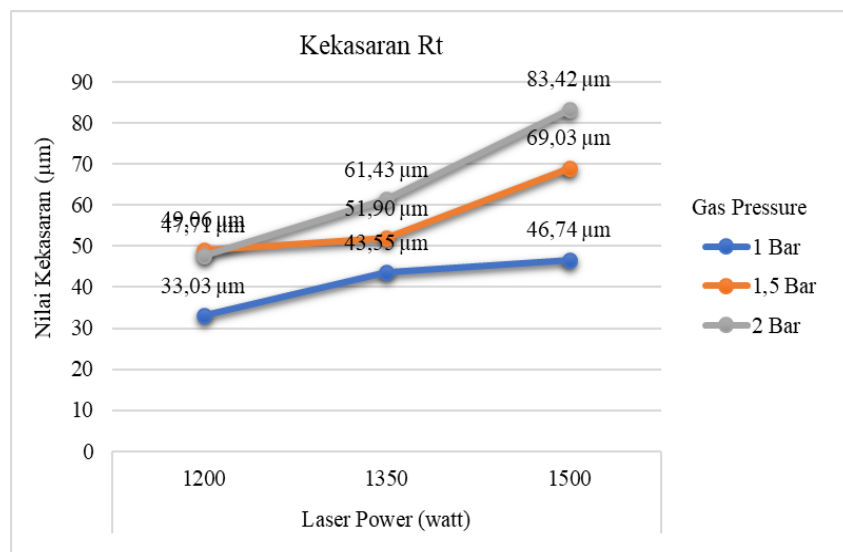
Pengujian kekasaran Rq menganalisis kekasaran permukaan material dengan fokus pada *Root Mean Square Roughness*. Pengujian ini digunakan untuk menilai sejauh mana permukaan material yang memiliki ketidakrataan atau tekstur yang berbeda-beda, terutama pada titik tertinggi atau titik terdalam. Berikut merupakan grafik dari parameter Rq.



Gambar 5 Grafik Rata-Rata Kekasaran Permukaan Rq (µm).

Berdasarkan gambar 7, hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *Root Mean Square Roughness* (Rq) berkisar antara 8,976 µm hingga 30,56 µm. Nilai Rq terendah (8,976 µm) terdapat pada spesimen 1A dengan *gas pressure* 1 bar dan *laser power* 1200W, yang mencerminkan distribusi kekasaran seragam tanpa puncak atau lembah ekstrem. Kondisi ini menunjukkan proses pemotongan yang terkontrol dengan baik karena densitas energi dan aliran gas berada pada tingkat optimal untuk material AISI 1040. Sebaliknya, nilai Rq tertinggi (30,56 µm) diperoleh pada spesimen 3C dengan *gas pressure* 2 bar dan *laser power* 1500W yang mengindikasikan ketidakrataan permukaan akibat penyimpangan tinggi signifikan. Kondisi ini dipengaruhi oleh pemasukan panas berlebih (*excessive heat input*) dan aliran gas turbulen (*turbulent flow*) di zona pemotongan [11]. Secara keseluruhan, parameter Rq terbukti sensitif terhadap kombinasi antara *gas pressure* dan *laser power*, serta dapat menjadi indikator terhadap kestabilan proses pemotongan.

Analisa Rt, yaitu jarak vertikal total antara titik tertinggi dan titik terendah pada profil permukaan dalam satu panjang pengukuran. Rt menunjukkan kondisi permukaan secara keseluruhan, terutama perbedaan yang jauh antara titik tertinggi dan titik terendah. Berikut merupakan grafik dari parameter Rq.



Gambar 6 Grafik Rata-Rata Kekasaran Permukaan Rz (µm).

Nilai R_t terendah diperoleh pada spesimen 1A (33,03 μm) dengan parameter gas *pressure* 1 bar dan *laser power* 1200W. Nilai R_t yang rendah mengindikasikan bahwa proses pemotongan berlangsung secara stabil, dengan variasi permukaan ekstrem yang minimal. Kondisi ini menunjukkan bahwa kolam lelehan (*melt pool*) berada dalam kendali yang baik, tanpa terjadi pelepasan lelehan (*melt ejection*) atau pembekuan tidak beraturan (*irregular solidification*) yang dapat menghasilkan fitur permukaan ekstrem. Nilai R_t tertinggi terjadi pada spesimen 3C (83,42 μm) dengan *gas pressure* 2 bar dan *laser power* 1500W. Peningkatan drastis nilai R_t mengindikasikan terjadinya cacat permukaan yang parah (*severe surface defects*) akibat variasi ketinggian yang ekstrem. Kombinasi antara daya *laser* yang tinggi (*high laser power*) dan tekanan gas yang tinggi (*high gas pressure*) menyebabkan kondisi pemotongan yang tidak stabil (*unstable cutting conditions*), yang menghasilkan aliran lelehan tidak teratur (*irregular melt flow*), percikan (*splashing*), serta pembentukan cacat permukaan seperti *dross* dan *burr* [11].

3.2 Analis Statistik

1. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data menyebar secara normal terdistribusi normal. Berdasarkan hasil uji normalitas menggunakan *Shapiro-Wilk* diperoleh nilai signifikansi sebesar 0.037. Karena nilai tersebut lebih kecil dari 0.05, maka dapat disimpulkan bahwa data kekasaran permukaan berdasarkan variasi tekanan gas dan daya terhadap kekasaran permukaan tidak berdistribusi normal. Berikut adalah tabel spss uji normalitas.

Table 2 Uji Normalitas Data

Tests of Normality						
	<i>Kolmogorov-Smirnov^a</i>			<i>Shapiro-Wilk</i>		
	<i>Statistic</i>	<i>df</i>	<i>Sig.</i>	<i>Statistic</i>	<i>df</i>	<i>Sig.</i>
gas	.209	9	.200*	.823	9	.037

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

a. *Lilliefors Significance Correction*

2. Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan untuk menguji apakah varians data antar kelompok seragam atau tidak. Berdasarkan hasil uji homogenitas menggunakan *Levene's Test*, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0.474 (> 0.05) untuk pengaruh tekanan gas terhadap kekasaran permukaan (R_a) dan 0.592 (> 0.05) untuk pengaruh daya terhadap kekasaran permukaan (R_a). Maka dapat disimpulkan bahwa data memiliki varians yang homogen antar kelompok. Berikut adalah tabel spss dari uji homogenitas

Table 3 Pengaruh *Gas Pressure* Terhadap Kekasaran Permukaan

Test of Homogeneity of Variances			
R_a			
<i>Levene Statistic</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig.</i>
.847	2	6	.474

Table 4 Pengaruh *Laser Power* Terhadap Kekasaran Permukaan

Test of Homogeneity of Variances			
R_a			
<i>Levene Statistic</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>Sig.</i>
.572	2	6	.592

3. Uji Kruskal-Wallis

Kruskal-Wallis Test adalah uji non-parametrik alternatif dari *One-Way ANOVA* yang digunakan untuk mengetahui apakah ada perbedaan signifikan antara 3 atau lebih kelompok (kategori) terhadap suatu variabel numerik saat data tidak normal. Berdasarkan hasil uji normalitas dan homogenitas yang dilakukan sebelumnya, data yang diperoleh tidak berdistribusi normal namun homogen, sehingga dilakukan uji dengan *Kruskal-Wallis*. Didapatkan nilai signifikansi pengaruh gas terhadap kekasaran permukaan sebesar $0,066 > 0,05$ yang artinya perbedaan tekanan gas tidak berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan (R_a). Nilai signifikansi pengaruh daya terhadap kekasaran permukaan sebesar $0,329 > 0,05$ artinya perbedaan tekanan gas tidak berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan (R_a). Berikut adalah tabel spss untuk uji *Kruskal-Wallis*.

Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The distribution of ra is the same across categories of gas.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	.066	Retain the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

Gambar 7 Kruskal wallis Pengaruh Gas Pressure

Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The distribution of ra is the same across categories of daya.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	.329	Retain the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

Gambar 8 Kruskal Wallis Pengaruh Laser Power

3.3 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi parameter *gas pressure* dan *laser power* memiliki pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan baja AISI 1040. Dari 9 kombinasi parameter yang diuji, diperoleh rentang nilai Ra dari 11,18 μm hingga 28,10 μm , yang menunjukkan variasi kualitas permukaan yang cukup besar bergantung pada parameter proses yang digunakan. Spesimen 1A dengan kombinasi *gas pressure* 1 bar dan *laser power* 1200W menghasilkan nilai Ra terbaik sebesar 11,18 μm , yang memberikan kekasaran permukaan terendah karena menciptakan keseimbangan optimal antara energi *laser* dan tekanan gas bantuan. Kondisi ini menghasilkan proses pemotongan yang stabil dengan *melt pool* yang terkontrol dengan baik. Sebaliknya, spesimen 3C dengan *gas pressure* 2 bar dan *laser power* 1500W menghasilkan kekasaran tertinggi dengan nilai Ra sebesar 28,10 μm . Kombinasi parameter ini menunjukkan kondisi pemotongan yang tidak optimal, di mana *excessive heat input* dan turbulensi gas yang berlebihan menyebabkan ketidakstabilan dalam proses pemotongan dan menghasilkan permukaan yang kasar.

Peningkatan *laser power* dari 1200W ke 1500W terbukti secara konsisten meningkatkan kekasaran permukaan pada semua tingkat *gas pressure*. Kondisi ini terjadi karena adanya interaksi kompleks antar faktor dalam proses pemotongan laser yang saling memengaruhi kualitas akhir permukaan [11]. Pertama, peningkatan *laser power* menyebabkan peningkatan *energy density* pada material. Ketika daya naik dari 1200W ke 1500W, terjadi pemanasan berlebihan (*overheating*) yang memperbesar dan membuat zona leleh menjadi tidak stabil [12]. Ketidakteraturan ini menimbulkan permukaan potongan yang bergelombang dan kasar, sehingga nilai kekasaran meningkat [13]. Kedua, *laser power* yang tinggi membentuk *melt pool* yang lebih besar dan dalam. Hal ini menyebabkan aliran lelehan menjadi tidak terkontrol, yang turut memicu ketidakteraturan pada hasil potongan dan berdampak langsung pada kenaikan nilai kekasaran permukaan [14].

Peningkatan *gas pressure* dari 1 bar ke 2 bar juga berkontribusi terhadap peningkatan kekasaran permukaan melalui mekanisme *Turbulensi* dalam *Melt Pool*. *Gas Pressure* bertekanan tinggi mengalir dengan kecepatan yang lebih besar, sehingga membentuk pola aliran yang berantakan atau *turbulen* [12]. Hal ini berdampak pada gangguan pola aliran yang menjadi tidak teratur. Tekanan gas yang terlalu tinggi membuat aliran gas menjadi tidak teratur atau turbulen. Aliran gas yang tidak stabil ini mengganggu permukaan logam cair (*melt pool*) saat proses pemotongan berlangsung [5]. Gangguan ini menyebabkan permukaan logam cair menjadi tidak rata sehingga saat membeku, hasil potongan menjadi kasar [9]. Selain itu, aliran gas yang tidak merata dapat menimbulkan pusaran kecil di sekitar kolam leleh sehingga ikut memengaruhi arah dan bentuk aliran logam cair. Akibatnya, permukaan potongan menjadi tidak halus dan nilai kekasaran permukaan meningkat [15].

Analisis menunjukkan adanya interaksi signifikan antara *gas pressure* dan *laser power* terhadap kekasaran permukaan. Pada kondisi *gas pressure* rendah, peningkatan *laser power* masih dapat ditoleransi, sedangkan pada *gas pressure* tinggi, peningkatan *laser power* justru memperburuk kekasaran. Kombinasi terburuk ditemukan pada *gas pressure* 2 bar dan *laser power* 1500 W dengan nilai Ra sebesar 28,10 μm (kategori N12 – sangat kasar). Parameter terbaik diperoleh pada *gas pressure* 1 bar dan *laser power* 1200 W yang menghasilkan Ra sebesar 11,18 μm (kategori N9 – sedang). Meskipun hasil ini belum memenuhi standar roda gigi presisi, namun masih sesuai untuk proses pemotongan awal (*blanking*) roda gigi kelas 10–12 menurut ISO 1328 dan DIN 3962 (Ra 6,3–25 μm), yang umum digunakan pada mesin konstruksi atau aplikasi kasar. Untuk meningkatkan kualitas

permukaan, hasil *fiber laser cutting* ini perlu dilanjutkan dengan proses *finishing* seperti *grinding* (R_a 0,5–1,0 μm), *honing/lapping* (R_a 0,3–0,5 μm), atau *superfinishing* ($R_a \leq 0,1 \mu\text{m}$).

4 Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi *gas pressure* 1 bar dan *laser power* 1200 W pada proses *fiber laser cutting* terhadap baja AISI 1040 tebal 6 mm menghasilkan kekasaran permukaan (R_a) optimal sebesar 11,18 μm yang tergolong ke dalam kategori N9 (sedang) menurut ISO 4287:1997. Nilai ini sesuai untuk proses *blanking* roda gigi kelas 10–12 berdasarkan ISO 1328 dan DIN 3962 yang digunakan pada aplikasi kasar seperti mesin konstruksi, namun belum memenuhi standar presisi tinggi. Uji *Kruskal-Wallis* menunjukkan tidak ada pengaruh signifikan dari tekanan gas (sig. 0,066 > 0,05) dan daya laser (sig. 0,329 > 0,05) terhadap R_a , sehingga H_0 diterima. Meskipun tidak signifikan secara statistik, hasil pengamatan visual terhadap nilai R_a pada masing-masing kombinasi parameter menunjukkan adanya tren perubahan kekasaran yang dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pengaturan parameter proses pemotongan untuk optimalisasi kualitas hasil *cutting* dalam aplikasi industri.

5 Referensi

- [1] M. S. Y. Lubis, A. Wiyoso, H. Wibowo, and S. Ariyanti, "Penentuan Parameter Proses Laser Cutting Terhadap Kekasaran Permukaan Material Acrylic," *IRA J.Tek. Mesin Dan Apl*, vol. 2, no. 2, pp. 19–28, Aug. 2023, doi: 10.56862/irajtma.v2i2.43.
- [2] A. I. Tauvana, L. Nulhakim, Widodo, and F. Saepurohman, "Pengaruh Kecepatan Dan Daya Pemotongan Mesin Cutting Laser Terhadap Material Thermoplastic Poly-Urethane," *Ramatekno*, vol. 3, no. 2, pp. 1–11, Nov. 2023, doi: 10.61713/jrt.v3i2.95.
- [3] C. Wandera, J. Andersson, and A. Salminen, "Fiber laser cutting of thick section stainless steel and medium section aluminum using high power fiber laser," *Journal of Engineering Manufacture*, vol. 225, no. 5, pp. 641–649, 2010.
- [4] G. V. Ermolaev, P. V. Yudin, F. Briand, A. V. Zaitsev, and O. B. Kovalev, "Fundamental study of CO₂- and fiber laser cutting of steel plates with high speed visualization technique," *Journal of Laser Applications*, vol. 26, no. 4, Nov. 2014, doi: 10.2351/1.4895563.
- [5] S. Sivarao, K. R. Milkey, A. R. Samsudin, A. K. Dubey, and P. Kidd, "Comparison of laser cut quality between CO₂ and fiber laser on mild steel," *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 9, no. 10, pp. 1761–1768, 2014.
- [6] W. Hidayat, "Klasifikasi Dan Sifat Material Teknik Serta Pengujian Material," Apr. 02, 2019, *Center for Open Science*. doi: 10.31227/osf.io/6bmfu.
- [7] S. Kumar, M. Patel, and R. Singh, "Evaluation of the effect of process parameters on the cut quality in fiber laser cutting of duplex stainless steel using response surface method (RSM)," *ScienceDirect Materials Today: Proceedings*, vol. 45, pp. 234–245.
- [8] ISO 4287:1997, "Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters," 4287
- [9] S. Klančnik, D. Begić-Hajdarević, M. Paulić, M. Ficko, A. Čekić, and M. Cohodar Husić, "Prediction of Laser Cut Quality for Tungsten Alloy Using the Neural Network Method," *SV-JME*, vol. 61, no. 12, pp. 714–720, Dec. 2015, doi: 10.5545/sv-jme.2015.2717.
- [10] B. Johnson, D. Miller, and K. Brown, "Surface roughness characterization in laser cutting of AISI 1040 carbon steel," vol. 108, pp. 2547–2558, 2020.
- [11] K. Hirano, R. Fabbro, and M. Müller, "Experimental determination of temperature threshold for melt surface deformation during laser interaction on iron at atmospheric pressure," *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 44, no. 43, p. 435402, Nov. 2011, doi: 10.1088/0022-3727/44/43/435402.
- [12] J. Powell, D. Petring, R. V. Kumar, S. O. Al-Mashikhi, A. F. H. Kaplan, and K. T. Voisey, "Laser-oxygen cutting of mild steel: the thermodynamics of the oxidation reaction," *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 42, no. 1, p. 015504, Jan. 2009, doi: 10.1088/0022-3727/42/1/015504.
- [13] L. D. Todhunter, R. K. Leach, S. D. A. Lawes, and F. Blateyron, "Industrial survey of ISO surface texture parameters," *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 19, pp. 84–92, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.cirpj.2017.06.001.
- [14] B. S. Yilbas, M. M. Shaukat, and F. Ashraf, "Laser cutting of various materials: Kerf width size analysis and life cycle assessment of cutting process," *Optics & Laser Technology*, vol. 93, pp. 67–73, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.optlastec.2017.02.014.
- [15] B. S. Yilbas, "Laser cutting of thick sheet metals: Effects of cutting parameters on kerf size variations," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 201, no. 1–3, pp. 285–290, May 2008, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.11.265.