

Pengaruh Daya Dan Kecepatan Pemotongan *Fiber Laser Cutting* Pada Baja A36 Dengan Ketebalan 6 mm Terhadap Kekasaran Permukaan

Muhammad Syafrin Dzulfikri^{1,*}, Djoko Hari P¹

¹ Program Studi Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Malang

Kata kunci

Baja A36
Daya
Fiber Laser Cutting
Kekasaran permukaan
Kecepatan pemotongan

ABSTRAK

Masalah umum dalam proses pemotongan laser adalah adanya kecacatan, yang dapat berupa permukaan kasar atau bahkan produk yang tidak terpotong. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh daya dan kecepatan pemotongan *fiber laser cutting* terhadap kekasaran permukaan baja A36 dengan ketebalan 6 mm. Eksperimen dilakukan menggunakan mesin *fiber laser cutting* dengan variasi daya 1500, 1350, dan 1200 watt, serta kecepatan pemotongan 1500 mm/min, 1000 mm/min, dan 500 mm/min. Uji kekasaran permukaan dilakukan menggunakan *Surface Roughness Tester*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya yang lebih tinggi dapat meningkatkan kekasaran permukaan jika tidak diimbangi dengan kecepatan pemotongan yang tepat. Pada daya 1500 watt dan kecepatan pemotongan 1000 mm/min, nilai kekasaran Ra tercatat sebesar 2,005 μm , Rq 2,862 μm , Rt 5,834 μm , dan Rz 8,076 μm . Selain itu, kecepatan pemotongan juga berpengaruh terhadap kekasaran permukaan; semakin cepat pemotongan, semakin halus hasilnya. Variasi parameter yang paling optimal untuk pemotongan baja A36 setebal 6 mm dengan *fiber laser cutting* adalah pada kecepatan 1000 mm/min, yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan Ra rata-rata terendah 2,857 μm dan tertinggi 16,35 μm . Rata-rata Rq berada pada 2,862 μm hingga 47,37 μm , dan Rt bervariasi antara 5,834 μm hingga 17,24 μm , sementara Rz berkisar antara 8,076 μm hingga 46,25 μm .

* Corresponding author:

Muhammad Syafrin Dzulfikri (email: muhammadsyafrindzulfikri34@gmail.com)

Diterima:

Disetujui:

Dipublikasikan:

1 Pendahuluan

Peningkatan signifikan dalam produk berbasis *sheet metal* telah menyebabkan peningkatan produksi yang semakin bervariasi, sehingga memerlukan perbaikan kualitas produk. Dalam hal ini, proses laser *cutting* CNC merupakan salah satu metode pemesinan non-tradisional untuk memotong benda kerja berbentuk *sheet metal* yang keras dan memiliki pola rumit, dengan waktu proses yang relatif singkat. Untuk memotong geometri kompleks dalam dua dimensi (*profiling*), metode yang paling umum digunakan adalah sinar laser atau *water-jet cutting*. [1]

Laser adalah sumber cahaya yang *koheren*, hampir monokromatik, dan searah. Laser *cutting* adalah salah satu teknologi yang memanfaatkan laser untuk memotong bahan, dan umumnya digunakan dalam aplikasi industri manufaktur. Proses laser *cutting* bekerja dengan mengarahkan output dari laser berdaya tinggi melalui sistem optik. Sistem laser optik dan CNC (*computer numerical control*) digunakan untuk mengarahkan material atau sinar laser yang dihasilkan, laser *cutting* dirancang untuk memfokuskan jumlah energi yang tinggi pada area yang kecil. [2]

Masalah yang sering muncul dalam proses laser *cutting* adalah kecacatan pemotongan. Cacatan tersebut meliputi permukaan yang kasar hingga tidak terpotongnya produk selama proses pemotongan. Untuk mencapai hasil pemotongan dengan kekasaran minimum, laju pemotongan akan mempengaruhi waktu yang diperlukan,

yaitu dengan waktu yang lebih lama. Namun, jika waktu pemotongan semakin cepat, akan menyebabkan nilai kekasaran yang tinggi akibat sinar laser yang terlalu cepat dalam memotong material. Untuk mendapatkan hasil produk dengan kekasaran minimum, perlu dilakukan pengaturan parameter yang mempengaruhi, seperti titik fokus sinar laser, tekanan gas *cutting*, dan kecepatan potong. [3]

Pemilihan baja pada penelitian ini yaitu Baja ASTM A36 yang masuk dalam kategori baja dengan tingkat karbon rendah, dikatakan rendah karena mengandung karbon antara 0.05% - 0.3% dan memiliki keuletan tinggi, mudah di *machining* dan baja yang paling sering digunakan. Material baja ini memiliki karakteristik mekanik yang baik, dengan kekuatan tarik yang tinggi dan ketahanan terhadap deformasi, menjadikannya ideal untuk secara mekanis maupun menggunakan teknologi laser

Kualitas benda kerja ditentukan oleh lebar garis potong, kekasaran permukaan *cutting*, dan ukuran area yang terkena panas parameter proses yang dipilih meliputi daya laser, kecepatan potong. Kondisi permukaan yang baik dalam pembuatan gear berbahan baja A36 dicapai dengan memperoleh nilai kekasaran permukaan yang rendah. Untuk mencapai hal ini, perlu dilakukan pengaturan parameter proses pada laser *cutting*.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh daya dan kecepatan pemotongan baja A36 ketebalan 6 mm terhadap uji kekasaran permukaan.

2 Metode Penelitian

Menyiapkan material yaitu Baja A36 dengan dimensi 30 x 30x 6 mm.



Gambar 1. Spesimen Baja A36

Menyiapkan mesin *Fiber Laser Cutting* untuk pemotongan material baja A36 dengan mengatur parameter yang digunakan

Melakukan penandaan terhadap material yang telah selesai dilakukan pemotongan.

Melakukan proses pemotongan sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Berdasarkan variabel yang digunakan adalah:

- Diameter *Nozzle* : 1,5 mm
- Gas : Nitrogen
- Tekanan : 2 bar
- Daya : 1500, 1350, dan 1200 Watt

Melakukan pengulangan langkah ke 3 dan 4 dengan variabel yang telah ditentukan yaitu tekanan konstan: 2 bar; dan kecepatan pemotongan : 1500 mm/min, 1000 /min/ min, 500 mm/min

Setelah di potong spesimen di resin salah satu sisinya agar bisa berdiri tegak saat di lakukan pengujian kekasaran permukaan.

Melakukan pengukuran kekasaran permukaan pada tiap spesimen dengan metode *Roughness tester* dengan indikator Ra, Rq, Rt, dan Rz

Analisa dan pengolahan data serta pembahasan secara statistik dan kajian pustaka sebagai hasil penelitian.

Memberikan kesimpulan terhadap hasil penelitian yang didapat.



Gambar 2. Surface Raougness Tester

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Hasil Uji Komposisi Baja A36

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja A36

| Fosfor (P) | Kalsium (Ca) | Kromium (Cr) | Mangan (Mn) | Besi (Fe) | Tembaga (Cu) | Rubidium (Rb) | Europium (Eu) |
|------------|--------------|--------------|-------------|-----------|--------------|---------------|---------------|
| 0,4 | 0,21% | 0,12% | 1,1% | 96,83% | 0,063% | 0,49% | 0,87% |

Sumber : Laboratorium Perlakuan Bahan Universitas Negeri Malang, 2024

Hasil analisis menunjukkan bahwa sampel tersebut sebagian besar terdiri dari besi (96,83%), yang menunjukkan bahwa ini adalah material berbasis besi, seperti baja. Kehadiran unsur-unsur lain, meskipun dalam jumlah yang lebih kecil, memberikan karakteristik khusus pada material. Misalnya, mangan dan fosfor dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan material, sementara kromium meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Kalsium dan tembaga juga berkontribusi pada sifat mekanik dan ketahanan.

3.2 Data Hasil Uji Kekasaran Permukaan

Data hasil pengujian Kekasaran permukaan di Laboratorium Pengujian dan Perlakuan Bahan Politeknik Negeri Malang dengan 3 kali pengulangan menggunakan alat *Surface Roughness Tester* dengan *Cutoff length* 2,5 mm ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 2. Data Hasil Uji Kekerasan Permukaan

| Spesimen | Perlakuan | Daya (Watt) | Kecepatan Pemotongan (mm/min) | Kekasaran Permukaan (µm) | | | |
|----------|-----------|-------------|-------------------------------|--------------------------|---------|---------|---------|
| | | | | Ra (µm) | Rz (µm) | Rq (µm) | Rt (µm) |
| 1 | A | 1500 | 1500 | 9,501 | 27,03 | 8,603 | 29,63 |
| | B | 1350 | 1000 | 8,023 | 22,68 | 8,057 | 22,91 |

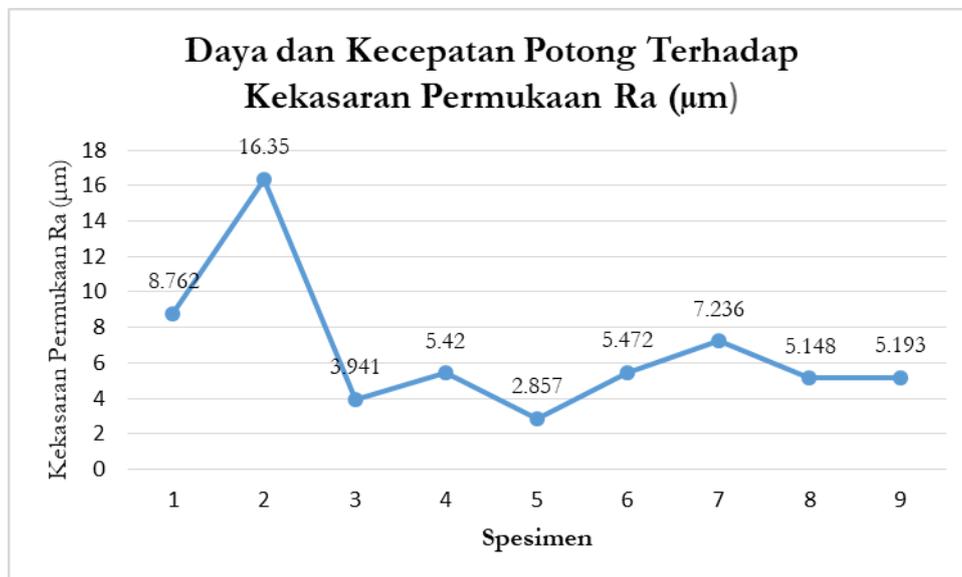
| | | | | | | | |
|---|---|------|------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | C | 1200 | 500 | 11,59 | 32,77 | 12,42 | 34,14 |
| | | | | 8,762 | 27,48 | 8,33 | 28,89 |
| | A | 1500 | 1500 | 16,11 | 45,56 | 16,18 | 46,02 |
| 2 | B | 1350 | 1000 | 15,09 | 42,67 | 15,22 | 43,09 |
| | C | 1200 | 500 | 17,86 | 50,53 | 20,34 | 52,98 |
| | | | | 16,35 | 46,25 | 17,24 | 47,37 |
| | A | 1500 | 1500 | 3,345 | 23,35 | 7,647 | 25,26 |
| 3 | B | 1350 | 1000 | 5,336 | 15,06 | 5,360 | 15,21 |
| | C | 1200 | 500 | 3,141 | 24,30 | 7,784 | 26,22 |
| | | | | 3,941 | 11,14 | 5,502 | 9,23 |
| | A | 1500 | 1500 | 8,258 | 23,35 | 7,647 | 25,26 |
| 4 | B | 1350 | 1000 | 5,326 | 15,06 | 5,360 | 15,21 |
| | C | 1200 | 500 | 3,141 | 24,30 | 7,784 | 26,22 |
| | | | | 4,641 | 20,9 | 6,93 | 22,23 |
| | A | 1500 | 1500 | 2,005 | 5,672 | 2,082 | 5,672 |
| 5 | B | 1350 | 1000 | 4,467 | 12,63 | 4,318 | 13,17 |
| | C | 1200 | 500 | 2,099 | 5,937 | 2,185 | 5,996 |
| | | | | 2,857 | 8,079 | 2,862 | 5,834 |
| | A | 1500 | 1500 | 6,181 | 17,48 | 5,804 | 18,98 |
| 6 | B | 1350 | 1000 | 3,379 | 9,558 | 3,379 | 9,653 |
| | C | 1200 | 500 | 6,857 | 19,39 | 6,350 | 20,62 |
| | | | | 5,472 | 15,47 | 5,178 | 9,653 |
| | A | 1500 | 1500 | 7,234 | 20,46 | 7,818 | 20,66 |
| 7 | B | 1350 | 1000 | 13,04 | 36,87 | 11,60 | 39,60 |
| | C | 1200 | 500 | 7,238 | 20,46 | 7,784 | 20,66 |
| | | | | 7,236 | 25,93 | 7,801 | 26,97 |
| | A | 1500 | 1500 | 6,906 | 19,52 | 5,121 | 21,57 |
| 8 | B | 1350 | 1000 | 2,526 | 71,45 | 2,594 | 7,216 |

| | | | | | | | |
|---|------------------|------|------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | C | 1200 | 500 | 6,012 | 17,00 | 5,155 | 17,34 |
| | Rata-rata | | | 5,148 | 17,00 | 4,29 | 7,216 |
| | A | 1500 | 1500 | 9,127 | 25,81 | 6,418 | 28,40 |
| 9 | B | 1350 | 1000 | 2,782 | 7,782 | 3,106 | 7,947 |
| | C | 1200 | 500 | 3,670 | 10,37 | 32,26 | 11,13 |
| | Rata-rata | | | 5,193 | 14,65 | 4,762 | 7,947 |

Sumber : Laboratorium Politeknik Negeri Malang, 2025

3.3 Pembahasan

Berdasarkan analisa data hasil pengujian pengujian kekasaran permukaan menggunakan alat uji *Surface Roughness Tester*, didapatkan data kekasaran permukaan Baja ASTM A36 bisa di lihat pada grafik di bawah ini :



Gambar 3. Grafik daya dan kecepatan pemotongan terhadap kekasaran permukaan Ra (µm)

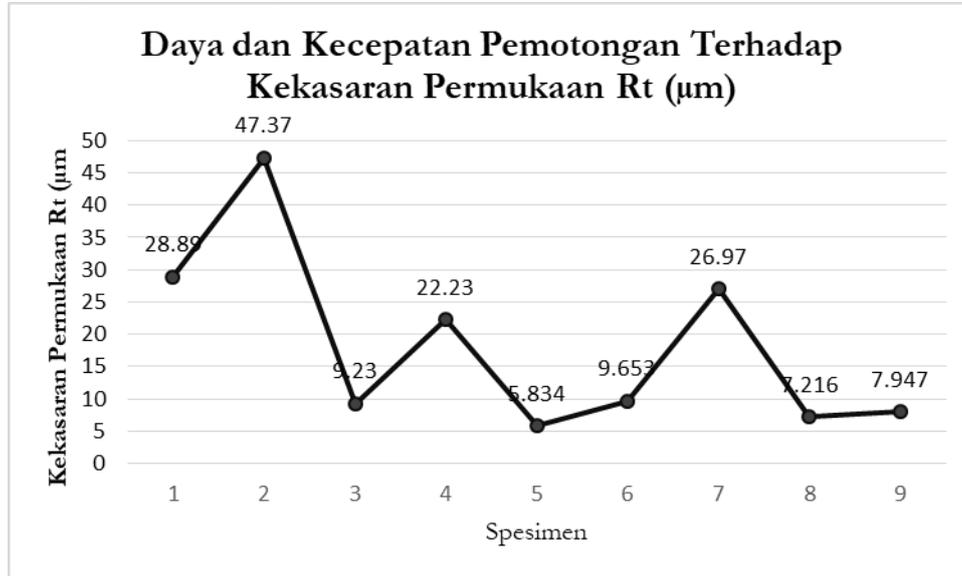
Pada gambar grafik diatas menjelaskan tentang hubungan antara pengaruh daya dan kecepatan pemotongan terhadap nilai kekasaran permukaan Ra dimana Ra adalah penyimpangan rata-rata dari garis rata-rata profil, yang dihasilkan dengan proses pemotongan menggunakan mesin fiber laser cutting. Dengan daya 1500 watt dan juga variasi kecepatan pemotongan 1500 mm/min, 1000 mm/min dan 500 mm/min menghasilkan nilai kekerasan permukaan yang nilainya berbeda. Pada daya 1500 dan kecepatan potongnya 1500 mm/min nilai kekasaran permukaan tertinggi rata-rata yaitu 8,762 µm dan terendah 5,420 µm. Lalu pada daya 1500 dan kecepatan pemotongan 1000 mm/min nilai kekerasan tertinggi rata-rata 16,35 µm dan terendah 2,005 µm. sedangkan pada daya 1500 dan kecepatan pemotongan 500 mm/min nilai kekasaran permukaan tertinggi rata-rata yaitu 5,472 µm dan terendah 3,941 µm.

Hal ini terjadi dikarenakan daya yang lebih tinggi cenderung menghasilkan energi yang lebih besar pada saat pemotongan, yang dapat menyebabkan lebih banyak material yang terbakar atau terpotong. Kecepatan pemotongan yang lebih rendah memungkinkan lebih banyak waktu bagi energi laser untuk berinteraksi dengan material, yang bisa mengakibatkan pemotongan yang lebih bersih dan halus.

Bisa disimpulkan hasil analisis menunjukkan bahwa baik daya maupun kecepatan pemotongan memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan dalam proses pemotongan menggunakan mesin fiber laser cutting. Daya yang lebih tinggi dapat meningkatkan kekasaran permukaan jika tidak diimbangi dengan kecepatan pemotongan yang sesuai.

Maka dalam penelitian ini kecepatan pemotongan 1000 mm/min dan daya 1500 menghasilkan kekasaran permukaan paling optimal dengan nilai kekasaran permukaan Ra rata-rata paling rendah sebesar 2,857 μm .

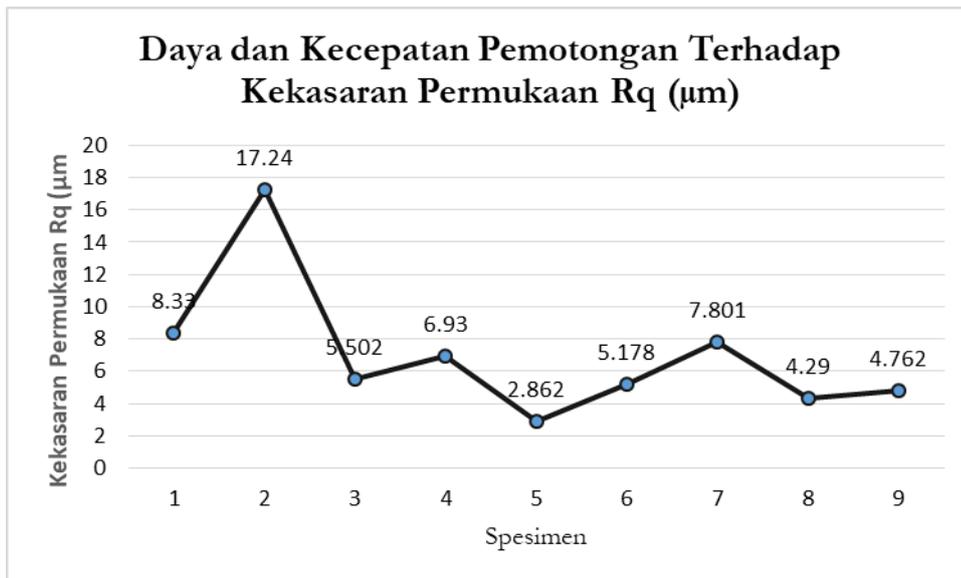
Penelitian ini berbanding lurus dengan penelitian sebelumnya [4] Hasil penelitian diketahui nilai rata-rata kekasaran permukaan (Ra) terendah yaitu 5,087 μm diperoleh pada kecepatan pemotongan 1400 mm/min dan tekanan oksigen 7 Bar. Dimana pengaruh kecepatan pemotongan terhadap nilai kekasaran permukaan adalah semakin cepat kecepatan pemotongan maka mengakibatkan waktu pemotongan semakin singkat sehingga energi panas laser yang mengenai area bidang kerja tidak maksimal.



Gambar 4. Grafik daya dan kecepatan pemotongan terhadap kekasaran permukaan Rt (μm)

Pada gambar grafik diatas menjelaskan tentang hubungan antara pengaruh daya dan kecepatan pemotongan terhadap nilai kekasaran permukaan Rt dimana Rt adalah tinggi maksimum kekasaran permukaan yang dihasilkan dengan proses pemotongan menggunakan mesin fiber laser cutting. Dengan daya 1500, 1350, dan 1200 watt dan juga variasi kecepatan pemotongan 1500 mm/min, 1000 mm/min dan 500 mm/min menghasilkan nilai tinggi maksimum kekerasan permukaan yang nilainya berbeda. Pada specimen 2 menunjukkan nilai Rt tertinggi sebesar 47,37 μm , yang mengindikasikan bahwa pada kecepatan pemotongan 1500 mm/min, kekasaran permukaan sangat tinggi. Hal ini disebabkan oleh kondisi pemotongan yang kurang optimal, seperti daya yang tidak memadai atau kecepatan yang terlalu rendah. Sebaliknya, specimen dengan kecepatan pemotongan yang lebih tinggi, seperti specimen 5, menunjukkan nilai Rt yang lebih rendah 5,834 μm , menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan pemotongan cenderung menghasilkan permukaan yang lebih halus.

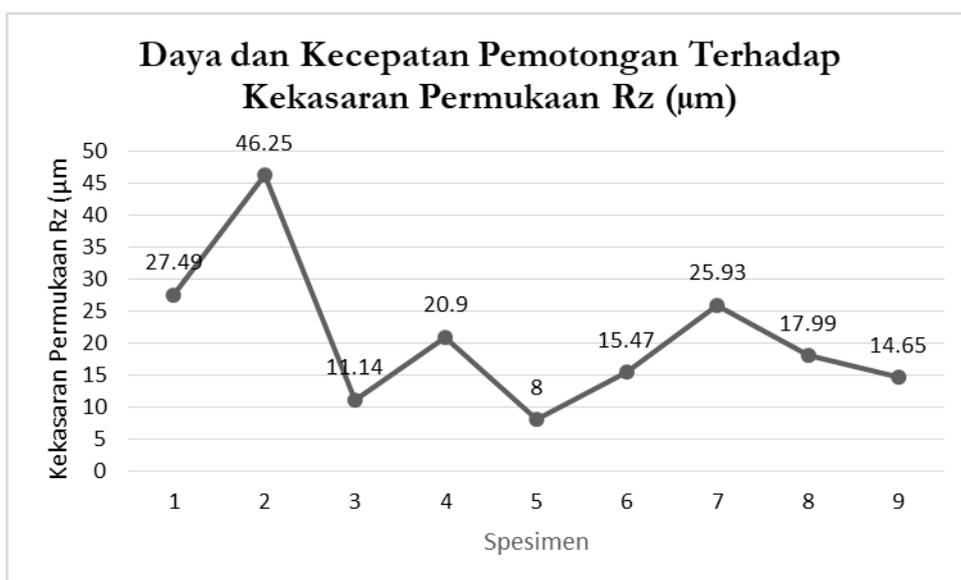
Terdapat tren umum bahwa peningkatan kecepatan pemotongan menyebabkan penurunan kekasaran permukaan, meskipun beberapa specimen menunjukkan fluktuasi dalam data. Misalnya, specimen 1 dan 2 menunjukkan nilai Rt yang lebih tinggi meskipun kecepatan pemotongan meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa faktor lain, seperti jenis alat pemotong, material yang dipotong, dan parameter pemotongan lainnya, juga berperan dalam menentukan kekasaran permukaan.



Gambar 5. Grafik daya dan kecepatan pemotongan terhadap kekasaran permukaan Rq (µm)

Pada gambar grafik diatas menjelaskan tentang hubungan antara pengaruh daya dan kecepatan pemotongan terhadap nilai kekasaran permukaan Rq dimana Rq adalah rata-rata kekasaran permukaan yang dihasilkan dengan proses pemotongan menggunakan mesin fiber laser cutting. Dengan daya 1500, 1350, dan 1200 watt dan juga variasi kecepatan pemotongan 1500 mm/min, 1000 mm/min dan 500 mm/min menghasilkan nilai tinggi maksimum kekerasan permukaan yang nilainya berbeda. Pada specimen 2 menunjukkan nilai Rq tertinggi sebesar 17,24 µm, yang mengindikasikan bahwa pada kecepatan pemotongan 1500 mm/min, kekasaran permukaan sangat tinggi. Hal ini disebabkan oleh kondisi pemotongan yang kurang optimal, seperti daya yang tidak memadai atau kecepatan yang terlalu rendah. Sebaliknya, specimen dengan kecepatan pemotongan yang lebih tinggi, seperti specimen 5, menunjukkan nilai Rt yang lebih rendah 2,862 µm, menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan pemotongan cenderung menghasilkan permukaan yang lebih halus

Yang terlihat dari grafik adalah bahwa peningkatan daya dan kecepatan pemotongan cenderung berhubungan dengan penurunan kekasaran permukaan. Namun, terdapat beberapa titik data yang menunjukkan fluktuasi, misalnya pada specimen 1 dan 2, di mana meskipun daya dan kecepatan pemotongan meningkat, nilai Rq tidak mengalami penurunan yang signifikan. Ini menunjukkan bahwa faktor lain, seperti jenis material, alat pemotong, dan kondisi pemotongan lainnya, juga dapat mempengaruhi hasil akhir kekasaran permukaan



Gambar 6. Grafik daya dan kecepatan pemotongan terhadap kekasaran permukaan Rz (µm)

Pada gambar grafik diatas menjelaskan tentang hubungan antara pengaruh daya dan kecepatan pemotongan terhadap nilai kekasaran permukaan Rz dimana Rz adalah tinggi puncak maksimum kekasaran permukaan yang dihasilkan dengan proses pemotongan menggunakan mesin fiber *laser cutting*. Dengan daya 1500, 1350, dan 1200 watt dan juga variasi kecepatan pemotongan 1500 mm/min, 1000 mm/min dan 500 mm/min menghasilkan nilai tinggi maksimum kekerasan permukaan yang nilainya berbeda.

Pada specimen 2 menunjukkan nilai Rz tertinggi sebesar 46,25 μm , yang mengindikasikan bahwa pada kecepatan pemotongan 1500 mm/min, kekasaran permukaan sangat tinggi. Hal ini disebabkan oleh kondisi pemotongan yang kurang optimal, seperti daya yang tidak memadai atau kecepatan yang terlalu rendah. Sebaliknya, spesimen dengan kecepatan pemotongan yang lebih tinggi, seperti spesimen 5, menunjukkan nilai Rz yang lebih rendah 8,076 μm , menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan pemotongan cenderung menghasilkan permukaan yang lebih halus

Yang terlihat dari grafik adalah bahwa peningkatan daya dan kecepatan pemotongan cenderung berhubungan dengan penurunan kekasaran permukaan. Namun, terdapat beberapa titik data yang menunjukkan fluktuasi, misalnya pada spesimen 1 dan 2, di mana meskipun daya dan kecepatan pemotongan meningkat, nilai Rz tidak mengalami penurunan yang signifikan. Ini menunjukkan bahwa faktor lain, seperti jenis material, alat pemotong, dan kondisi pemotongan lainnya, juga dapat mempengaruhi hasil akhir kekasaran permukaan

4 Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan dengan 9 spesimen dan 3 kali pengulangan maka didapat 27 data, dapat disimpulkan yaitu pengaruh daya yang lebih tinggi dapat meningkatkan kekasaran permukaan jika tidak diimbangi dengan kecepatan pemotongan yang sesuai, dengan daya 1500 dan kecepatan pemotongan 1000 mm/min mendapatkan nilai kekasaran Ra sebesar 2,005 μm . Rq 2,862 μm , Rt 5,834 μm , dan Rz 8,076 μm . Pengaruh kecepatan pemotongan terhadap nilai kekasaran permukaan adalah semakin cepat pemotongan. variasi parameter paling optimal pada saat memotong baja A36 tebal 6 mm menggunakan *fiber laser cutting* dengan *cutting speed* sebesar 1000 mm/min dengan hasil kekasaran permukaan Ra rata-rata terendah 2,857 μm dan tertinggi 16,35 μm . Rq rata-rata terendah 2,862 μm dan tertinggi 47,37 μm . Rt rata-rata terendah 5,834 μm dan tertinggi 17,24 μm . Rz rata-rata terendah 8,076 μm dan tertinggi 46,25 μm .

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, 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, 2023, doi: 10.61713/jrt.v3i2.95.
- [3] M. A. Hidayat, A. Farid, and P. Suwandono, "Analisa parameter pada pemotongan plate menggunakan CNC fiber laser cutting terhadap kekasaran permukaan," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 2, pp. 239–247, 2021, doi: 10.24127/trb.v10i2.1737.
- [4] S. H. Mohammad Rudi Romadhoni, "PENGARUH VARIASI KECEPATAN PEMOTONGAN DAN TEKANAN OKSIGEN MESIN FIBER LASER CUTTING TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN DARI MATERIAL STAINLESS STEEL 304," vol. 3, no. 2, pp. 318–322, 2024.
- [5] Johnson, R., & Lee, T. (2019). Diseño de una plataforma suspendida de nivel variable y desplazamiento horizontal para realizar trabajos de mantenimiento en fachadas de edificios (Bachelor's thesis).
- [6] Amir, B., Lomnitz, A., Gale, Y., Friedlander, L., Samuha, S., & Sadot, O. (2023). Effects of shell scanning and build orientation on dynamic properties of laser powder bed fusion AlSi10Mg alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 883, 145521.
- [7] O. Andy and A. Nurharyanto, "Jurnal Inovator Pengaruh Persentase Power dan Kecepatan Potong Terhadap Nilai Tegangan Tarik Pada Proses Pemotongan dengan Laser Cutting," vol. 6, no. 2, pp. 70–74, 2023
- [8] Rahmawati, A. R., Anis, S., & Rusiyanto, R. (2019). Pengaruh Kecepatan Pemotongan dan Ketebalan Bahan Terhadap Kekerasan dan Kekasaran Permukaan Baja AISI 1045 Menggunakan CNC Plasma Arc Cutting. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 4(2), 93–98. <https://doi.org/10.21831/dinamika.v4i2.27390>
- [9] Sahri, S., & Wing Hendroprasetyo, A. P. (2015). Analysis of the Effect Line Heating on Mechanical Properties and Microstructure of Steel ASTM A36 with Variations Cooling. *Teknik Perkapalan: Institut Teknologi Sepuluh*

Nopembe

- [10] Rodrigues, G. C., Vorkov, V., & Duflou, J. R. (2018). Optimal laser beam configurations for laser cutting of metal sheets. *Procedia CIRP*, 74, 714-718.
- [11] Parthiban, A., Chandrasekaran, M., Muthuraman, V., & Sathish, S. (2018). Optimization of CO2 laser cutting of stainless steel sheet for curved profile. *Materials Today: Proceedings*, 5(6), 14531-14538.