



# Studi Eksperimental Pengaruh Parameter Proses *End Milling* Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Material AISI D2

Satrio Darma Utama<sup>a,\*</sup>, Mazwan<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Jambi, Jln Lingkar Barat 2 Kota Jambi, Indonesia

## INFO ARTIKEL

### Riwayat Artikel:

Diterima 22 Februari 2024  
Diterima setelah direvisi 25 April 2024  
Disetujui 30 April 2024

### Kata kunci:

*End milling*  
Kekasaran permukaan  
Parameter Proses

**Abstract-** The metal manufacturing industry continues to experience rapid development which demands increased efficiency and quality. One of the machining processes used is the end milling process, which is able to increase efficiency and precision in making various components from various types of materials. The end milling process requires achieving machinability properties, which affect product quality, productivity, and production costs. Understanding process parameters such as spindle speed, depth of cut, and feed rate is key in achieving optimal results in the end milling process. This research focuses on the influence of process parameters on the surface roughness of AISI D2 material, which is known as a tool steel with high wear resistance and high dimensional stability. Experimental results show significant variations in surface roughness, with spindle speed and feed rate having the most significant influence, followed by depth of cut. Using a high spindle speed produces a smoother surface, while increasing the feed rate can increase surface roughness. Although increasing the depth of cut tends to increase the surface roughness, the impact is not statistically significant. This study emphasizes the importance of process-parameter control in achieving desired results in the end milling process for AISI D2 material.

**Intisari-** Industri manufaktur logam terus mengalami perkembangan pesat yang menuntut peningkatan efisiensi, dan kualitas. Salah satu proses pemesinan yang digunakan adalah proses *end milling*, yang mampu meningkatkan efisiensi dan presisi dalam pembuatan beragam komponen dari berbagai jenis material. Proses *end milling* memerlukan pencapaian sifat mampu mesin, yang memengaruhi kualitas produk, produktivitas, dan biaya produksi. Pemahaman parameter-proses seperti kecepatan spindle, kedalaman pemotongan, dan gerak makan menjadi kunci dalam mencapai hasil yang optimal dalam proses *end milling*. Penelitian ini memfokuskan pada pengaruh parameter-proses pada kekasaran permukaan material AISI D2, yang dikenal sebagai baja perkakas dengan ketahanan aus dan stabilitas dimensi tinggi. Hasil eksperimen menunjukkan variasi signifikan dalam kekasaran permukaan, dengan kecepatan spindle dan gerak makan memiliki pengaruh paling signifikan, diikuti oleh kedalaman pemotongan. Penggunaan kecepatan spindle yang tinggi menghasilkan permukaan yang lebih halus, sementara peningkatan gerak makan dapat meningkatkan kekasaran permukaan. Meskipun peningkatan kedalaman pemotongan cenderung meningkatkan kekasaran permukaan, dampaknya tidak signifikan secara statistik. Studi ini menyoroti pentingnya pengendalian parameter-proses dalam mencapai hasil yang diinginkan dalam proses *end milling* untuk material AISI D2.

## 1. Pendahuluan

Industri manufaktur logam terus berkembang dengan cepat, menuntut peningkatan efisiensi, kualitas, dan umur pemakaian peralatan [1]. Salah satu proses pemesinan yang digunakan dalam industri saat ini adalah proses

*end milling*, karena proses *end milling* mampu meningkatkan efisiensi dan presisi dalam pembuatan beragam komponen dan produk yang berasal dari berbagai jenis material. Pada proses *end milling*, terdapat beberapa hal yang harus dicapai suatu mesin yang biasa disebut sifat mampu mesin (*machinability*), seperti gaya potong, keausan pahat, dan kekasaran

\* Corresponding Author:

E-mail: [satrio.darma@politeknikjambi.ac.id](mailto:satrio.darma@politeknikjambi.ac.id) (Satrio Darma Utama)

permukaan. Sifat mampu mesin dapat mempengaruhi kualitas produk, meningkatkan produktivitas, dan mengurangi biaya dalam proses produksi.

Dalam konteks ini, pemahaman mendalam tentang parameter-proses seperti kecepatan spindel, kedalaman pemotongan, dan gerak makan sangat penting, karena mereka memainkan peran kunci dalam menentukan hasil akhir proses *end milling*.

Masalah yang sering terjadi pada proses pemesinan adalah tidak optimalnya pengaturan level-level parameter pemesinan yang dapat menyebabkan cacat pada produk, berkurangnya kualitas produk, dan kenaikan biaya produksi. Terdapat berbagai cara analisis, penyesuaian, serta pemodelan yang ditemukan untuk menetapkan parameter pemotongan yang optimal.

Berbagai jenis material dengan tingkat kekerasan yang berbeda-beda dapat diproses dengan *end milling*. Salah satu jenis material yang diproses melalui proses *end milling* yang digunakan secara luas di berbagai bidang teknik adalah AISI D2, karena memiliki kekuatan, kekerasan, dan ketahanan ausnya yang tinggi, sehingga banyak digunakan pada bangunan, kapal, peralatan, kereta api, mobil, peralatan listrik dan mekanik seperti arbors, camshafts, pinion, dan komponen penghubung [2].

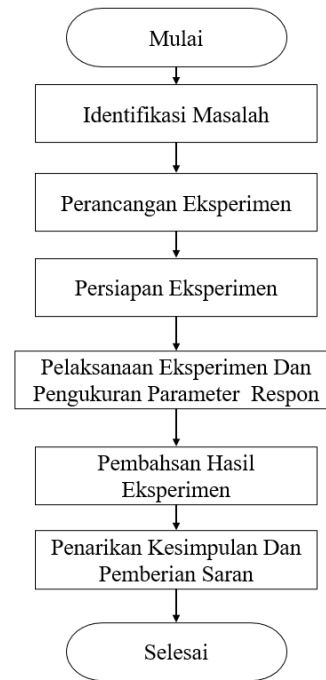
AISI D2, atau lebih dikenal sebagai baja perkakas, merupakan material yang memiliki peran krusial dalam industri manufaktur logam. Baja ini terkenal karena ketahanan ausnya yang tinggi dan stabilitas dimensinya yang baik. AISI D2 sering digunakan dalam berbagai aplikasi yang menuntut ketahanan terhadap keausan dan kestabilan bentuk yang presisi. Karakteristik ini membuatnya menjadi pilihan utama untuk pembuatan perkakas dan komponen yang mengalami beban dan tekanan tinggi. Dengan kemampuannya yang telah teruji, AISI D2 menjadi fokus penelitian dalam konteks evaluasi pengaruh parameter-proses pada proses pemesinan, seperti *end milling*, dengan tujuan meningkatkan efisiensi dan kualitas pemesinan pada material ini.

Salah parameter yang memiliki peran sentral dalam menentukan kualitas akhir suatu produk adalah kekasaran Permukaan. Kekasaran permukaan mempengaruhi kelelahan, keausan, sifat gesekan, dan ketahanan permukaan mesin. Oleh karena itu, kekasaran permukaan harus dikontrol selama proses pemesinan [3]. Faktor-faktor seperti pemilihan parameter-proses, jenis pahat, dan kondisi pemotongan secara langsung memengaruhi kekasaran permukaan. Permukaan yang lebih halus tidak hanya menciptakan produk yang estetik dan bersih, tetapi juga dapat meningkatkan kinerja fungsional dan kekuatan material. Maka, pemahaman mendalam tentang kekasaran permukaan dalam konteks proses pemesinan menjadi kunci untuk mencapai hasil pemesinan yang presisi dan efisien dalam berbagai industri.

Penelitian ini berfokus pada pengaruh parameter-proses pada material khusus, AISI D2, yang dikenal sebagai baja perkakas dengan ketahanan aus dan stabilitas dimensi yang tinggi. Evaluasi parameter-proses, khususnya kecepatan spindel, kedalaman pemotongan, dan gerak makan, pada kekasaran permukaan pada AISI D2. Tujuan Penelitian ini diharapkan memberikan wawasan yang berharga. Dengan memahami dan mengoptimalkan parameter-proses untuk *end milling* pada AISI D2, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif terhadap industri manufaktur, meningkatkan kualitas produk, efisiensi operasional, dan umur pemakaian peralatan

## 2. Metodologi

Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian tahapan eksperimental dengan tujuan utama untuk menginvestigasi dampak variasi parameter *end milling* terhadap kekasaran permukaan dan keausan pahat insert pada material AISI D2. Rincian tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan mesin CNC Vertical Machining Center dengan merk Hartford S-Plus 10. Alat ukur yang digunakan adalah surface roughness tester Mitutoyo SJ-310 dan Material yang digunakan adalah AISI D2 Dengan dimensi ukuran 150 x 55 x 15 mm Seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Komposisi Material disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi Material

AISI D2	Komposisi paduan (wt.%)						
	Ni	Cr	Mn	C	Mo	Si	Cu
	1.61	12	0.6	1.5	0.29	0.18	0.03



Gambar 2. Material AISI D2

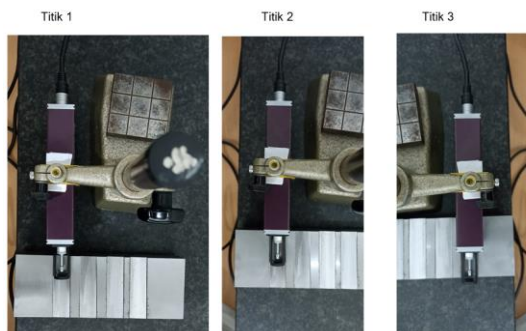
Kekasaran permukaan dapat diukur dengan menggunakan alat pengukur *surface roughness tester*. Beberapa langkah yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengkalibrasian *surface roughness tester*.
2. Memposisikan benda kerja di meja rata.
3. Pengaturan *cut-off length*. *Cut-off length* yang digunakan adalah 0,8.
4. Tempatkan alat pengukur kekasaran permukaan pada permukaan yang akan diukur dan nyalakan alat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2



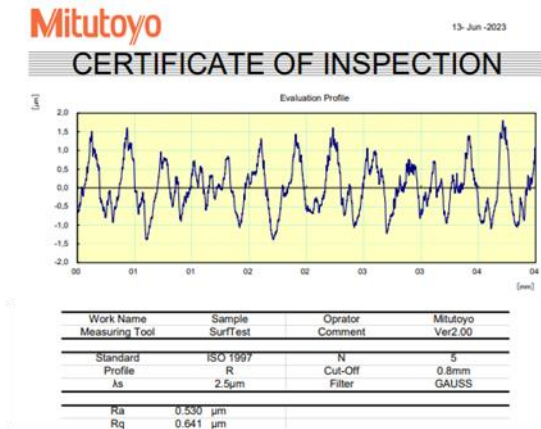
Gambar 2. Set up Proses Pengukuran Benda Kerja

5. Pengaktifan surface roughness tester untuk melakukan pengukuran kekasaran permukaan sepanjang 4,8 mm pada 3 titik pada satu eksperimen yang dimana diambil nilai rata-rata dari ketiga titik tersebut. Angka kekasaran permukaan yang diamati adalah kekasaran (Ra) yang dinyatakan dalam  $\mu\text{m}$ . Proses pengukuran ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses Pengukuran Kekasaran Permukaan

6. Setelah alat selesai melakukan pengukuran hasil pengukuran akan ditampilkan pada layar monitor. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan

### 3. Hasil dan pembahasan

#### 3.1. Hasil Eksperimen

Hasil eksperimen menunjukkan variasi signifikan dalam kekasaran permukaan benda kerja pada material AISI D2. Kekasaran permukaan rata-rata (Ra) merupakan parameter kekasaran yang sering digunakan untuk

mengontrol kualitas permukaan secara menyeluruh [4]. Ra dapat didefinisikan melalui persamaan 1.

$$R_a = \frac{h_1+h_2+h_3+\dots+h_i}{L} \quad (1)$$

Keterangan:

Ra = Harga kekasaran aritmatika ( $\mu\text{m}$ )

n = Frekuensi pengukuran

L = Panjang sampel yang telah ditentukan untuk menentukan kekasaran permukaan

Kekasaran permukaan dapat diprediksi dengan menggunakan persamaan 2 [5] dengan mengetahui nilai dari gerak makan (f) dan radius pojok pahat ( $r_\epsilon$ ).

$$R_a = \frac{0,0321 \times f^2}{r_\epsilon} \quad (2)$$

Data penelitian disajikan dalam Tabel 2. Dalam menganalisis data kekasaran permukaan, terlihat adanya perbedaan yang nyata antara eksperimen dengan berbagai kombinasi kecepatan spindle, kedalaman pemotongan, dan gerak makan.

Tabel 2 Hasil Pengukuran

No	Kecepatan spindle (rpm)	Gerak makan (mm/gigi)	Kedalaman potong (mm)	Kekasaran permukaan ( $\mu\text{m}$ )
1	800	0,05	0,8	0,920
2	800	0,15	1,2	0,952
3	800	0,25	1,6	1,385
4	1100	0,05	0,8	0,541
5	1100	0,15	1,2	0,809
6	1100	0,25	1,6	1,192
7	1400	0,05	1,2	0,458
8	1400	0,15	1,6	0,624
9	1400	0,25	0,8	0,833
10	800	0,05	1,6	0,821
11	800	0,15	0,8	0,452
12	800	0,25	1,2	1,078
13	1100	0,05	1,2	0,861
14	1100	0,15	1,6	0,852
15	1100	0,25	0,8	1,028
16	1400	0,05	1,6	0,402
17	1400	0,15	0,8	0,593
18	1400	0,25	1,2	0,960

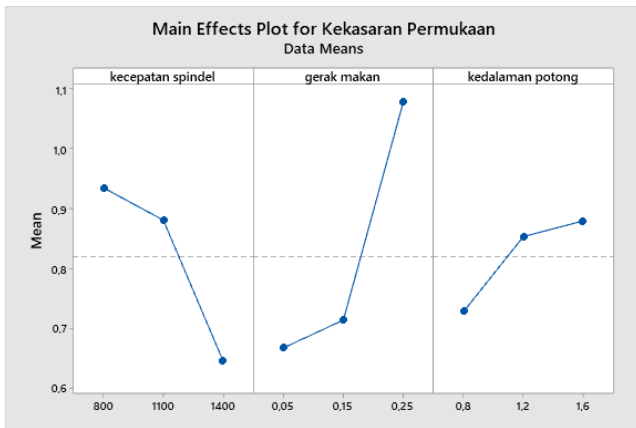
#### 3.2. Analisis Statistik

Analisis statistik, termasuk uji signifikansi, dilakukan untuk memvalidasi hasil eksperimen. Hasil analisis ini mendukung temuan-temuan dari eksperimen dan memperkuat keyakinan terhadap pengaruh parameter-proses terhadap kekasaran pada AISI D2. Hasil uji signifikansi disajikan pada Tabel 3. Kriteria penolakan dalam uji signifikansi adalah tolak  $H_0$  jika P-value kurang dari  $\alpha$ , dengan  $\alpha = 0,05$

Tabel 3 Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
kecepatan spindle	2	0,54374	0,271869	15,95	0,000
gerak makan	2	1,19169	0,595847	34,96	0,000
kedalaman potong	2	0,15756	0,078779	4,62	0,018

Parameter proses seperti, kecepatan spindle, dan gerak makan memiliki P-value < 0,05, sehingga tolak  $H_0$  yang bermaksud parameter proses kecepatan spindle, dan gerak makan memiliki pengaruh yang paling signifikan terhadap kekasaran permukaan diikuti oleh kedalaman potong. Parameter proses jenis cairan pemotongan memiliki P-value > 0,05, sehingga gagal tolak  $H_0$  yang bermaksud parameter proses jenis cairan pemotongan tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan. Pengaruh signifikansi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kekasaran Permukaan

### 3.3. Pengaruh Kecepatan Spindel

Analisis data yang dilakukan menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara kecepatan spindel dan kekasaran permukaan pada material AISI D2. Ditemukan bahwa penggunaan kecepatan spindel yang lebih tinggi secara konsisten menghasilkan permukaan yang lebih halus dengan kekasaran yang lebih rendah. Faktor ini mungkin disebabkan oleh efisiensi pemotongan yang lebih baik pada kecepatan tinggi, yang mengurangi kemungkinan terjadinya cacat atau ketidakrataan pada permukaan material. Sebaliknya, penggunaan kecepatan spindel yang lebih lambat dapat meningkatkan kemungkinan akumulasi serpihan, yang pada gilirannya dapat menghasilkan permukaan dengan kekasaran yang lebih tinggi. Oleh karena itu, pengendalian kecepatan spindel merupakan faktor kunci dalam mencapai hasil yang diinginkan dalam hal kekasaran permukaan untuk material AISI D2.

### 3.4. Dampak Kedalaman Pemotongan

Variasi dalam kedalaman pemotongan juga terbukti memberikan kontribusi pada hasil eksperimen. Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan kedalaman pemotongan dapat secara langsung mempengaruhi kekasaran permukaan. Meskipun demikian, perlu dicatat bahwa dampaknya tidak signifikan secara statistik jika dibandingkan dengan kecepatan spindel dan gerak makan. Meskipun peningkatan kedalaman pemotongan cenderung meningkatkan kekasaran permukaan, variabilitas ini mungkin juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lain dalam proses pemotongan yang dapat memperlemah atau mengimbangi efek tersebut.

### 3.5. Peran Gerak Makan

Analisis data yang mendalam juga menyoroti pengaruh yang signifikan dari gerak makan pada kekasaran permukaan. Dalam proses *end milling*, peningkatan gerak makan secara substansial dapat berdampak pada peningkatan kekasaran permukaan. Ketika gerak makan ditingkatkan, volume material yang dihilangkan oleh alat pemotong juga meningkat secara proporsional, sesuai dengan prinsip-prinsip dasar proses pemotongan. Namun, ada suatu keseimbangan yang harus diperhatikan, sebagaimana diungkapkan dalam persamaan 2. Peningkatan yang berlebihan dalam gerak makan dapat menghasilkan efek negatif seperti deformasi, pergeseran, atau peningkatan gaya gesekan yang pada akhirnya mempengaruhi kualitas permukaan dari hasil pemotongan. Fenomena ini juga ditemukan dalam penelitian Shukla dkk. [6].

## 4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh parameter-proses *end milling* pada AISI D2, beberapa kesimpulan dapat diambil sebagai berikut.

- 1) Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan, terdapat variasi yang signifikan dalam kekasaran permukaan benda kerja dari material AISI D2. Data yang dikumpulkan menunjukkan perbedaan yang nyata antara berbagai kombinasi kecepatan spindel, kedalaman pemotongan, dan gerak makan. Analisis statistik yang dilakukan untuk memvalidasi hasil eksperimen menguatkan temuan tersebut. Hasil uji signifikansi menunjukkan bahwa kecepatan spindel dan gerak makan memiliki pengaruh yang paling signifikan terhadap kekasaran permukaan, diikuti oleh kedalaman pemotongan.
- 2) Kecepatan spindel terbukti memiliki hubungan yang signifikan dengan kekasaran permukaan. Penggunaan kecepatan spindel yang lebih tinggi menghasilkan permukaan yang lebih halus, mungkin karena efisiensi pemotongan yang lebih baik. Di sisi lain, peningkatan gerak makan secara substansial juga berdampak pada peningkatan kekasaran permukaan. Meskipun peningkatan kedalaman pemotongan cenderung meningkatkan kekasaran permukaan, dampaknya tidak signifikan secara statistik dibandingkan dengan kecepatan spindel dan gerak makan. Namun demikian, perlu dicatat bahwa peningkatan kedalaman pemotongan dapat memberikan kontribusi terhadap kekasaran permukaan.

Faktor-faktor ini perlu dipertimbangkan secara cermat dalam proses *end milling*. Pengendalian kecepatan spindel, kedalaman pemotongan, dan gerak makan merupakan aspek kunci dalam mencapai hasil yang diinginkan dalam hal kekasaran permukaan untuk material AISI D2.

## Referensi

- [1] Mazwan, M. K. Effendi, B. O. P. Soepangkat, S. D. Utama, dan R. A. Fajardini, "Multi-objective Optimization of Turning Process Steel SKD 11 Using BPNN-Artificial Bee Colony (ABC) Method," in *Proceedings of the 6th Mechanical Engineering, Science and Technology International conference*, Atlantis Press International BV, 2022, hal. 520–529. doi: 10.2991/978-94-6463-134-0.
- [2] Sultana, N., & Dhar, N. R. (2022). A critical review on the progress of MQL in machining hardened steels. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 8(4), 3834–3858. <https://doi.org/10.1080/2374068X.2022.2036041>
- [3] Utama, S. D., Wahjudi, A., Effendi, M. K., Soepangkat, B. O. P., & Fajardini, R. A. (2022). Multi-objective Optimization Using BPNN-PSO in the Face Milling Process of AISI 1045. In *Proceedings of the 6th Mechanical Engineering, Science and Technology International conference*. Atlantis Press International BV. <https://www.atlantispress.com/proceedings/apmrc-22/125978004>
- [4] Groover. (2010). *fundamentals of modern manufacturing materials, processes and systems*. jon wiley & sons inx.
- [5] Schmitz, T. L., & Smith, k scott. (2018). machining dynamics frequency response to improved productivity. In *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (Vol. 93, Issues 1–4). Spinger. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93707-6>
- [6] Shukla, A., Kotwani, A., & Unune, D. R. (2020b). Performance comparison of dry, flood and vegetable oil based minimum quantity lubrication environments during CNC milling of Aluminium 6061. *Materials Today: Proceedings*, 21(xxxx), 1483–1488. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.060>