

## Optimasi Parameter Pemesinan CNC Milling Untuk Meningkatkan Kekasaran Permukaan Material AISI 4140 Menggunakan Metode Taguchi

<sup>1</sup>Dhio Stofania, <sup>2</sup>Kholiq Deliasgarin Radyantho, <sup>3</sup>I Made Ivan Wiyarta Cakra Sujana,  
<sup>4</sup>Faisal Manta, <sup>5</sup>Yongki Christandi Batubara, dan <sup>6</sup>Rijal Surya Rahmany  
<sup>1,2,3,4,5,6</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Rekayasa dan Teknologi Industri, Institut Teknologi  
Kalimantan  
<sup>3</sup>made.sujana@lecturer.itk.ac.id

---

### INFO ARTIKEL

---

**Riwayat Artikel :**  
Diterima : 26 Maret 2026  
Disetujui : 16 April 2026

---

**Kata Kunci :**  
CNC milling  
Kekasaran permukaan  
AISI 4140  
Metode Taguchi  
ANOVA.

---

### ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh pentingnya pengendalian kekasaran permukaan dalam proses pemesinan CNC, karena kualitas permukaan yang baik sangat berpengaruh terhadap kinerja, umur pakai, dan keandalan komponen, khususnya pada material baja AISI 4140 yang широко digunakan dalam industri manufaktur presisi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kecepatan spindle, laju umpan, dan kedalaman pemotongan terhadap kekasaran permukaan baja AISI 4140 selama proses pemesinan CNC. Metode Taguchi dengan susunan ortogonal L16(4<sup>3</sup>) digunakan untuk mengoptimalkan parameter pemesinan secara efisien, sedangkan Analisis Varians (ANOVA) digunakan untuk menentukan signifikansi statistik dari setiap faktor. Percobaan dilakukan menggunakan mesin CNC milling (SUPERMILL MK 2.0) dengan mata pisau endmill karbida dan emulsi pendingin. Kekasaran permukaan (Ra) diukur untuk setiap enam belas kombinasi parameter. Hasil menunjukkan bahwa laju umpan merupakan faktor yang paling dominan yang memengaruhi kekasaran permukaan, diikuti oleh kedalaman pemotongan dan kecepatan spindle. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa laju umpan memiliki nilai F tertinggi (326,87) dan nilai P 0,000, yang menunjukkan pengaruh yang sangat signifikan. Parameter pemesinan optimal untuk mencapai kekasaran permukaan terendah adalah kecepatan spindle 7000 rpm, laju umpan 50 mm/menit, dan kedalaman pemotongan 0,25 mm, menghasilkan Ra minimum 0,284 µm. Analisis regresi mengkonfirmasi bahwa kekasaran permukaan menurun dengan meningkatnya kecepatan spindle tetapi meningkat dengan laju umpan dan kedalaman pemotongan yang lebih tinggi, dengan deviasi kurang dari 5% antara nilai eksperimental dan nilai prediksi. Secara keseluruhan, analisis Taguchi dan ANOVA berhasil mengidentifikasi kombinasi parameter optimal untuk meminimalkan kekasaran permukaan dalam CNC milling baja AISI 4140, memberikan data referensi yang berharga untuk optimasi proses dalam manufaktur presisi.

---

### ARTICLE INFO

---

**Article History :**  
Received : Mar 26, 2026  
Accepted : Apr 16, 2026

---

**Keywords:**  
CNC milling

---

### ABSTRACT

*This research is motivated by the importance of surface roughness control in CNC machining process, because good surface quality greatly affects the performance, service life, and reliability of components, especially in AISI 4140 steel material which is widely used in the precision manufacturing industry. This study aims to analyze the effect of spindle speed, feed rate,*

*Surface roughness  
AISI 4140  
Taguchi method  
ANOVA*

*and depth of cut on the surface roughness of AISI 4140 steel during CNC machining process. The Taguchi method with L16(4<sup>3</sup>) orthogonal arrangement is used to optimize the machining parameters efficiently, while Analysis of Variance (ANOVA) is used to determine the statistical significance of each factor. The experiment was conducted using a CNC milling machine (SUPERMILL MK 2.0) with carbide endmill blades and coolant emulsion. Surface roughness (Ra) was measured for each of sixteen parameter combinations. The results show that feed rate is the most dominant factor affecting surface roughness, followed by depth of cut and spindle speed. The ANOVA results showed that the feed rate had the highest F value (326.87) and a P value of 0.000, indicating a highly significant effect. The optimal machining parameters to achieve the lowest surface roughness were a spindle speed of 7000 rpm, a feed rate of 50 mm/min, and a depth of cut of 0.25 mm, resulting in a minimum Ra of 0.284  $\mu\text{m}$ . Regression analysis confirmed that surface roughness decreased with increasing spindle speed but increased with higher feed rates and depths of cut, with a deviation of less than 5% between the experimental and predicted values. Overall, the Taguchi analysis and ANOVA successfully identified the optimal parameter combination to minimize surface roughness in CNC milling of AISI 4140 steel, providing valuable reference data for process optimization in precision manufacturing.*

## 1. PENDAHULUAN

Industri manufaktur di Indonesia menunjukkan peningkatan yang signifikan, sejalan dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat dan kemajuan teknologi, terutama di bidang permesinan (Farizi Rachman *et al.*, 2020). Dalam konteks ini, mesin CNC (*Computer Numerical Control*) semakin populer karena kemampuannya menghasilkan presisi tinggi. Mesin CNC yang dikendalikan oleh program komputer memungkinkan kontrol yang sangat presisi terhadap pergerakan alat potong (Hendra *et al.*, 2022).

Di antara berbagai jenis mesin CNC, CNC milling merupakan salah satu yang paling banyak digunakan dalam industri manufaktur karena keunggulannya dalam hal presisi, efisiensi, dan produktivitas dibandingkan dengan mesin konvensional (Anas *et al.*, 2022). Salah satu aplikasi utama CNC milling adalah dalam pengolahan logam, khususnya baja AISI 4140.

Baja AISI 4140 diklasifikasikan sebagai baja karbon menengah dengan kandungan karbon sekitar 0,42% dan termasuk baja paduan rendah yang diperkuat oleh unsur kromium dan molibdenum. Berdasarkan sistem klasifikasi dari *American Iron and Steel Institute* (AISI), dua

digit terakhir menunjukkan kandungan karbon dalam persen (Mahardika, 2020). Baja ini memiliki kekerasan sekitar 207 HV dan banyak digunakan dalam pembuatan komponen mesin seperti pin piston, roda gigi, dan poros karena memiliki kekuatan tinggi, ketahanan aus yang baik, serta kemampuan menahan beban mekanis yang besar (Saputro, Setiadi dan Wibowo, 2020).

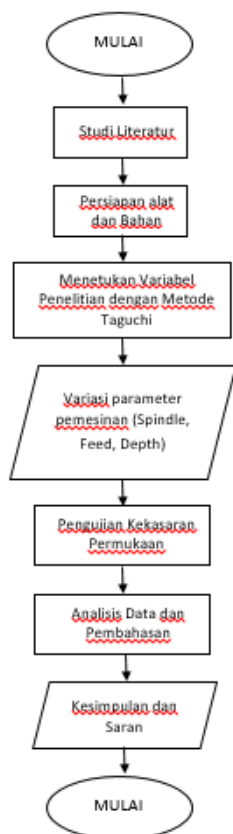
Dalam proses manufaktur komponen mesin, kekasaran permukaan merupakan salah satu parameter kualitas yang sangat penting. Penggunaan mesin CNC menuntut pengendalian parameter yang tepat agar hasil permukaan benda kerja memenuhi standar kualitas yang ditetapkan (Fauzi dan Sumbodo, 2021). Nilai kekasaran permukaan dipengaruhi oleh berbagai parameter pemotongan, seperti kecepatan spindle, kedalaman potong, laju pemakanan, serta jenis alat potong yang digunakan (Choifin *et al.*, 2024).

Berdasarkan hal tersebut, posisi penelitian ini adalah mengisi kesenjangan pada kajian optimasi parameter pemesinan CNC *milling* terhadap kekasaran permukaan baja AISI 4140 dengan pendekatan yang lebih komprehensif. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi metode Taguchi untuk optimasi parameter

dengan analisis ANOVA untuk menentukan tingkat signifikansi faktor, serta pengembangan model regresi yang mampu memprediksi nilai kekasaran permukaan secara kuantitatif. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengidentifikasi parameter dominan, tetapi juga memberikan model prediktif dan kondisi optimal yang dapat dijadikan acuan praktis dalam proses manufaktur presisi.

## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk menganalisis pengaruh parameter pemesinan CNC *milling* terhadap kekasaran permukaan material AISI 4140. Metode Taguchi digunakan sebagai metode perancangan eksperimen untuk memperoleh kombinasi parameter optimal dengan jumlah percobaan yang efisien. Analisis statistik dilakukan menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengidentifikasi tingkat signifikansi masing-masing faktor.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 2.1 Variabel dan Faktor Eksperimental

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah parameter pemesinan, yaitu:

- Kecepatan *spindle* ( $n$ )

- Laju pemakanan (*feed rate*,  $f$ )
- Kedalaman potong (*depth of cut*,  $a$ )

Masing-masing parameter diuji pada empat level, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Parameter dan Tingkat Pemesinan

Parameter	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Spindle Speed (rpm)	4000	5000	6000	7000
Feed Rate (mm/min)	50	75	100	125
Depth of Cut (mm)	0.25	0.50	0.75	1.00

Variabel terikat adalah kekasaran permukaan ( $R_a$ ), sedangkan variabel kontrol meliputi jenis pahat, jenis pendingin, dan material benda kerja.

### 2.2. Desain Eksperimental Menggunakan Metode Taguchi

Perancangan eksperimen dilakukan menggunakan metode Taguchi dengan matriks ortogonal  $L_{16}(4^3)$ , sehingga diperoleh 16 kombinasi percobaan. Metode ini dipilih karena mampu mengurangi jumlah eksperimen tanpa mengurangi validitas hasil.

Kinerja proses dievaluasi menggunakan rasio *Signal-to-Noise* (S/N) dengan kriteria smaller is better, karena tujuan penelitian adalah meminimalkan kekasaran permukaan. Persamaan rasio S/N dinyatakan sebagai:

$$S/N = -10 \times \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

(Giatma Dwijuna Ahadi, Sindi Wahyu Pratiwi dan Devi Putri Isnarwaty, 2023)

Dimana:

- $y_i$  = nilai kekasaran permukaan dari percobaan ke- $i$ ,
- $n$  = jumlah pengulangan untuk setiap kondisi eksperimental.

Setiap percobaan dilakukan sebanyak tiga kali untuk meningkatkan akurasi data, dan nilai rata-rata digunakan dalam analisis.

### 2.3 Prosedur Eksperimental

Proses pemesinan dilakukan menggunakan mesin CNC Milling SUPERMILL MK 2.0. Pahat yang digunakan adalah carbide endmill, dengan pendingin berupa emulsi oli air (Bromus). Setiap spesimen dikerjakan sesuai

kombinasi parameter yang telah ditentukan dalam matriks Taguchi.



Gambar 2. Spesimen Uji



Gambar 3. Endmill Carbide



Gambar 4. Mesin Milling CNC (SUPERMILL MK 2.0)

Setelah proses pemesinan, pengukuran kekasaran permukaan dilakukan menggunakan alat *Surface Roughness Tester*. Pengukuran dilakukan pada tiga titik berbeda pada setiap spesimen, kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai Ra akhir.



Gambar 5. *Surface Roughness Tester*

## 2.4 Analisis Data

Data hasil eksperimen dianalisis menggunakan perangkat lunak Minitab dengan tahapan sebagai berikut:

- Perhitungan rasio S/N untuk setiap kombinasi parameter
- Analisis pengaruh masing-masing faktor melalui grafik main effects
- *Analisis varians* (ANOVA) untuk menentukan signifikansi statistik
- Penyusunan model regresi untuk memprediksi kekasaran permukaan

Faktor dengan nilai  $P < 0,05$  dianggap memiliki pengaruh signifikan terhadap respon.

## 2.5 Tes Konfirmasi

Uji konfirmasi dilakukan untuk memverifikasi kombinasi parameter optimal yang diperoleh dari analisis Taguchi. Nilai kekasaran permukaan hasil eksperimen dibandingkan dengan nilai prediksi dari model regresi untuk mengevaluasi tingkat akurasi, dengan batas deviasi kurang dari 5%.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Eksperimen Kekasaran Permukaan

Eksperimen pemesinan dilakukan menggunakan mesin CNC Milling SUPERMILL MK 2.0 dengan pahat carbide endmill dan pendingin emulsi Bromus. Nilai kekasaran permukaan (Ra) untuk setiap kombinasi parameter ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Eksperimen Kekasaran Permukaan

No	Spindle Speed (rpm)	Feed Rate (mm/min)	Depth of Cut (mm)	Ra ( $\mu\text{m}$ )
1	4000	50	0.25	0.284
2	4000	75	0.50	0.555
3	4000	100	0.75	0.995
4	4000	125	1.00	1.462
5	5000	50	0.50	0.325
6	5000	75	0.25	0.381
7	5000	100	1.00	1.170
8	5000	125	0.75	1.300
9	6000	50	0.75	0.416
10	6000	75	1.00	0.760
11	6000	100	0.25	0.520
12	6000	125	0.50	0.858
13	7000	50	1.00	0.481
14	7000	75	0.75	0.622
15	7000	100	0.50	0.683
16	7000	125	0.25	0.606

Berdasarkan hasil pengujian, nilai kekasaran permukaan berkisar antara 0,284  $\mu\text{m}$

hingga 1,462  $\mu\text{m}$ . Variasi ini menunjukkan bahwa parameter pemesinan memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas permukaan hasil proses *milling*.

Secara umum, nilai Ra yang lebih rendah diperoleh pada kondisi kecepatan spindle tinggi dan *feed rate* rendah. Sebaliknya, peningkatan *feed rate* dan kedalaman potong cenderung menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa peningkatan laju pemakanan akan meningkatkan gaya potong dan gesekan, sehingga memperburuk kualitas permukaan (Fauzi dan Sumbodo, 2021).

Selain itu, kedalaman potong yang lebih besar menyebabkan peningkatan beban pemotongan dan deformasi plastis material, yang berdampak pada meningkatnya kekasaran permukaan (Gatot Setyono *et al.*, 2022). Fenomena ini juga berkaitan dengan pembentukan geram dan getaran selama proses pemesinan.

### 3.2 Analisis Metode Taguchi

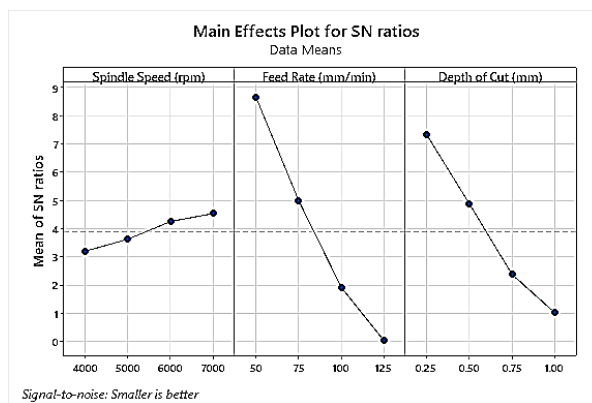
Analisis metode Taguchi dilakukan dengan menggunakan rasio *Signal-to-Noise* (S/N) dengan karakteristik *smaller is better*. Berdasarkan Tabel 3, diperoleh nilai delta tertinggi pada parameter *feed rate*, diikuti oleh kedalaman potong dan kecepatan spindle.

Tabel 3. Respons untuk *Signal to Noise Ratios* (*Smaller is better*)

Level	Spindle Speed (rpm)	Feed Rate (mm/min)	Depth of Cut (mm)
1	3.19809	8.66780	7.33640
2	3.62531	5.00089	4.87958
3	4.25301	1.91784	2.37675
4	4.53586	0.02575	1.01954
Delta	1.33776	8.64205	6.31686
Rank	3	1	2

Urutan tingkat pengaruh parameter terhadap kekasaran permukaan adalah:

- *Feed rate*
- *Depth of cut*
- *Spindle speed*



Gambar 6. Plot efek utama untuk S/N ratios (*smaller is better*).

Hasil ini menunjukkan bahwa *feed rate* merupakan faktor paling dominan dalam menentukan kualitas permukaan. Secara teoritis, hal ini disebabkan oleh meningkatnya ketebalan geram (*chip load*) pada laju pemakanan tinggi yang menghasilkan permukaan lebih kasar (Wahyudi, Oktriadi and Erwansyah, 2026). Kombinasi parameter optimal yang diperoleh adalah:

- Kecepatan spindle = 7000 rpm
- *Feed rate* = 50 mm/min
- *Depth of cut* = 0,25 mm

Kombinasi ini menghasilkan nilai kekasaran permukaan minimum sebesar 0,284  $\mu\text{m}$ . Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa kecepatan potong yang tinggi dapat meningkatkan kualitas permukaan dengan mengurangi pembentukan *built-up edge*.

### 3.3 Analisis Varians (ANOVA)

Analisis ANOVA digunakan untuk menentukan tingkat signifikansi masing-masing parameter pemesinan terhadap kekasaran permukaan. Hasil analisis menunjukkan bahwa semua parameter memiliki pengaruh signifikan ( $P < 0,05$ ).

Parameter *feed rate* memiliki pengaruh paling dominan dengan nilai F sebesar 326,87 dan P-value sebesar 0,000. Kedalaman potong juga memberikan pengaruh signifikan dengan nilai F sebesar 178,26, sedangkan kecepatan spindle memiliki pengaruh yang lebih kecil namun tetap signifikan dengan nilai F sebesar 8,36.

Hasil ini konsisten dengan penelitian (Arga, Pusvyta dan Budiman, 2025) yang menyatakan bahwa *feed rate* merupakan faktor utama yang mempengaruhi kekasaran permukaan. Selain itu,

penelitian (Widiatmoko *et al.*, 2025) juga menunjukkan bahwa parameter pemotongan memiliki kontribusi signifikan terhadap kualitas hasil proses milling.

Tabel 4. Analisis Varians untuk rasio SN

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Spindle Speed	3	4.388	4.388	1.4627	8.36	0.015
Feed Rate	3	171.531	171.531	57.1769	326.87	0.000
Depth of Cut	3	93.543	93.543	31.1810	178.26	0.000
Error	6	1.050	1.050	0.1749	-	-
Total	15	270.511	-	-	-	-

### 3.4 Analisis Regresi

Model regresi yang diperoleh adalah:

$$Ra = 1,8452 - 0,000168(n) + 0,00695(f) + 0,478(a)$$

Model ini menunjukkan bahwa:

- Kecepatan spindle (n) berpengaruh negatif terhadap kekasaran permukaan
- Feed rate (f) dan depth of cut (a) berpengaruh positif terhadap kekasaran permukaan

Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan spindle dapat memperhalus permukaan, sedangkan peningkatan feed rate dan kedalaman potong akan memperbesar kekasaran permukaan. Fenomena ini sesuai dengan teori pemesinan yang menyatakan bahwa parameter pemotongan mempengaruhi gaya potong, getaran, dan pembentukan geram (Kalpakjian, Schmid and Sekar, 2014).

Model regresi yang dihasilkan memiliki tingkat akurasi yang tinggi, dengan deviasi kurang dari 5% antara hasil prediksi dan hasil eksperimen. Hal ini menunjukkan bahwa model dapat digunakan sebagai alat prediksi yang andal dalam optimasi parameter pemesinan.

Tabel 5. Koefisien Regresi

Term	Coefficient	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	1.8452	0.097	19.03	0.000

Spindle Speed (n)	-0.000168	0.00025	-6.72	0.000
Feed Rate (f)	0.00695	0.00083	8.37	0.000
Depth of Cut (a)	0.478	0.073	6.55	0.000

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas permukaan pada proses CNC milling sangat dipengaruhi oleh kombinasi parameter pemotongan. Feed rate menjadi faktor paling dominan karena secara langsung menentukan ketebalan geram dan interaksi antara pahat dan benda kerja.

Kecepatan spindle yang tinggi terbukti mampu meningkatkan kualitas permukaan dengan mengurangi gaya potong dan pembentukan *built-up edge*. Sementara itu, kedalaman potong yang besar meningkatkan beban pemotongan dan potensi getaran, yang berdampak pada meningkatnya kekasaran permukaan.

Selain itu, getaran selama proses pemesinan juga berkontribusi terhadap penurunan kualitas permukaan, terutama pada material AISI 4140. Oleh karena itu, pemilihan parameter yang tepat sangat penting untuk menghasilkan kualitas permukaan yang optimal serta meningkatkan efisiensi proses manufaktur.

## 4. PENUTUP

### 4.1. Kesimpulan

- Penelitian ini menunjukkan bahwa laju umpan merupakan faktor paling dominan yang memengaruhi kekasaran permukaan baja AISI 4140 pada proses penggilingan CNC, diikuti oleh kedalaman pemotongan dan kecepatan spindle, sebagaimana dibuktikan oleh hasil ANOVA dengan nilai F tertinggi dan signifikansi yang sangat kuat. Kondisi pemesinan optimal diperoleh pada kecepatan spindle 7000 rpm, laju umpan 50 mm/menit, dan kedalaman pemotongan 0,25 mm dengan nilai kekasaran permukaan terendah sekitar 0,284 μm. Model regresi yang dihasilkan mampu memprediksi kekasaran permukaan dengan akurasi tinggi,

ditunjukkan oleh deviasi kurang dari 5% antara hasil eksperimen dan prediksi. Secara keseluruhan, kombinasi kecepatan spindle tinggi, laju umpan rendah, dan kedalaman pemotongan kecil terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas permukaan, sekaligus menegaskan bahwa metode Taguchi dan ANOVA dapat digunakan secara efisien untuk optimasi parameter pemesinan.

#### 4.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan penggunaan kecepatan spindle tinggi, feed rate rendah, dan kedalaman potong kecil untuk menghasilkan kekasaran permukaan yang optimal. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan parameter lain seperti jenis pahat dan pendingin, serta menggunakan metode optimasi lanjutan seperti RSM atau ANN. Selain itu, perlu dilakukan pengujian pada material lain dan validasi dalam skala industri untuk memastikan hasil yang lebih aplikatif.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Anas, K. *et al.* (2022) “Analisis Perbandingan Laju Spindle Terhadap Kekasaran Permukaan AISI 4140 Menggunakan Face Mill Analysis Comparison Of Spindle Rate Surface Roughness AISI 4140 Using Face Mill,” *Jurnal Rekayasa Mesin dan Inovasi Teknologi*, 3(2), pp. 202–207. Available at: <https://jurnal.ftm.uniba-bpn.ac.id/index.php/REMIT/article/view/45>.
- Arga, D.T., Pusvyta, Y. and Budiman, A.Y. (2025) “Analisis Pengaruh Variasi Parameter Pemotongan terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses Bubut Menggunakan Metode Taguchi,” *Jurnal Multimedia Dehasen*, 4(4), pp. 1139–1146.
- Choifin, M. *et al.* (2024) “Analisa Pengaruh Variasi Kedalaman Potong Dan Putaran Spindle Pada Proses Frais Menggunakan Fly Cutter Terhadap Kekasaran Permukaan Material Ss400,” *Jurnal Rekayasa Energi dan Mekanika*, 4(1), p. 48. Available at: <https://doi.org/10.26760/jrem.v4i1.48>.
- Farizi Rachman, F.R. *et al.* (2020) “Penerapan Metode Taguchi untuk Optimasi Setting Parameter CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Material,” *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Manufaktur*, 2(2), pp. 109–120. Available at: <https://doi.org/10.48182/jtrm.v2i2.70>.
- Fauzi, A. and Sumbodo, W. (2021) “Pengaruh Parameter Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan ST 40 pada Mesin Bubut CNC,” *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 6(1), pp. 46–57. Available at: <https://doi.org/10.21831/dinamika.v6i1.38114>.
- Gatot Setyono *et al.* (2022) “Effect of Cutting Parameter Toward The Surface Roughness Applied In Turning Tool Steel Material,” *Infotekmesin*, 13(2), pp. 233–238. Available at: <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v13i2.1533>.
- Giatma Dwijuna Ahadi, Sindi Wahyu Pratiwi and Devi Putri Isnarwaty (2023) “Pendekatan Desain Eksperimen Taguchi sebagai Metode Optimasi pada Bidang Teknik dan Industri (studi kasus pada proses bundling kemasan),” *SainsTech Innovation Journal*, 6(2), pp. 380–388. Available at: <https://doi.org/10.37824/sij.v6i2.2023.617>.
- Hendra *et al.* (2022) “Perbandingan pembuatan produk menggunakan simulasi program CNC dan CNC Milling,” *METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal*, 6(1), pp. 53–59. Available at: <https://doi.org/10.25077/metal.6.1.53-59.2022>.
- Kalpakjian, S., Schmid, S.R. and Sekar, K.S.V. (2014) *Manufacturing Engineering and Technology*. 7th ed. Edited by A. Deh. Bangkok: Pearson Education South Asia Pte Ltd.
- Mahardika, S. (2020) “ANALISA REKAYASA SIFAT MEKANIK BAJA AISI 4140 DENGAN VARIASI SUHU TEMPERING UNTUK MENINGKATKAN KEULETAN DAN KEKERASAN MATERIAL,” *Jurnal Mekanova*, 6(1), pp. 64–69. Available at: <https://doi.org/10.35308/jmkn.v6i1.2306>.
- Saputro, D., Setiadi, G. and Wibowo, S. (2020) “Analisis Pengaruh Waktu Tahan (Holding Time) Terhadap Kekerasan Baja Aisi 4140

Dengan Metode Pack Carburizing Media Arang Bambu,” *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 7(1), pp. 48–54. Available at: <https://doi.org/10.33558/jitm.v7i1.1907>.

Wahyudi, Oktriadi, Y. and Erwansyah (2026) “Analisis Pengaruh Cutting Speed, Depth of Cut dan Feed Rate CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium 6061 Menggunakan Respons Surface Methodology (RSM),” *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan (JITT)*, 4(1), pp. 153–159. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.33504/jitt.v4i1.368>.

Widiatmoko, R.Y. *et al.* (2025) “PENGARUH PROSES MILLING MUKA PADA KONDISI BASAH DAN,” *Sigma Teknika*, 8(2), pp. 341–347.