

Pengaruh Variasi Kecepatan Potong terhadap Kekasaran Permukaan pada Pemessinan Baja ST37 dengan *Milling* CNC

Rohmat Mufti Ali^{1*}, Ali Rosyidin², Vannir Zefninva Ihqdinar³

^{1*}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Tangerang, rohmat.m.a@gmail.com

²Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Tangerang, rosyidinali90x@gmail.com

³Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Tangerang, zefninwannir@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi kecepatan potong terhadap kekasaran permukaan (Ra) pada proses CNC *milling* baja ST37. Eksperimen dilakukan dalam kondisi pemotongan basah menggunakan pahat *end mill* karbida dengan kecepatan *spindle* 530,78 rpm, 663,48 rpm, dan 796,18 rpm. Kekasaran permukaan diukur menggunakan profilometer dan dianalisis secara statistik. Hasil penelitian menunjukkan penurunan signifikan pada nilai Ra seiring peningkatan kecepatan potong, dengan nilai rata-rata masing-masing 3,25 μm , 2,87 μm , dan 2,54 μm . Temuan ini menegaskan bahwa kecepatan potong merupakan parameter kunci dalam meningkatkan kualitas permukaan pada proses CNC *milling* baja ST37, serta memiliki implikasi praktis bagi optimasi proses di industri manufaktur dan pendidikan vokasi.

Kata kunci: CNC *milling*, Kecepatan Potong, Kekasaran Permukaan, Baja ST37, Pemessinan

Abstract

This study examines the effect of cutting speed variation on surface roughness (Ra) in the CNC milling process of ST37 steel. The experiment was conducted under wet cutting conditions using a carbide end mill cutter with spindle speeds of 530.78 rpm, 663.48 rpm, and 796.18 rpm. Surface roughness was measured using a profilometer and analyzed statistically. The results showed a significant decrease in Ra values as the cutting speed increased, with average values of 3.25 μm , 2.87 μm , and 2.54 μm , respectively. These findings confirm that cutting speed is a key parameter in improving surface quality in the CNC *milling* process of ST37 steel, and has practical implications for process optimization in the manufacturing industry and vocational education.

Keywords: CNC *milling*, Cutting Speed, Surface Roughness, ST37 Steel, Machining

Pendahuluan

Perkembangan teknologi manufaktur modern menuntut peningkatan kualitas, presisi, dan efisiensi dalam proses produksi, khususnya pada industri berbasis logam. Salah satu parameter penting dalam pemessinan adalah kualitas permukaan hasil potong yang dinyatakan melalui nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*). Tingkat kekasaran permukaan berpengaruh langsung terhadap sifat mekanik, daya tahan aus, serta performa komponen dalam penggunaannya (Groover, 2017).

Baja karbon rendah ST37 merupakan material yang banyak digunakan dalam konstruksi dan komponen teknik karena memiliki sifat mekanik yang cukup baik serta harga yang relatif ekonomis (Callister, 2019). Namun, dalam proses pemessinan baja ST37, pencapaian kualitas permukaan yang optimal masih menjadi tantangan, terutama dipengaruhi oleh parameter pemotongan seperti kecepatan potong, *feed rate*, dan kedalaman potong. Oleh karena itu, diperlukan penelitian eksperimental untuk menganalisis hubungan variasi parameter pemotongan terhadap kualitas permukaan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat dirumuskan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan potong terhadap kekasaran permukaan (Ra) pada pemessinan baja ST37 menggunakan mesin CNC *milling*?

2. Kecepatan potong berapakah yang menghasilkan nilai kekasaran permukaan paling optimal sesuai standar kualitas konstruksi?

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa parameter pemotongan sangat berpengaruh terhadap kualitas permukaan. Penelitian oleh (Suresh et al., 2012) menegaskan bahwa kecepatan potong yang lebih tinggi cenderung menghasilkan nilai kekasaran lebih rendah akibat mekanisme pemotongan yang lebih stabil. Hal serupa juga ditemukan oleh (Santoso, 2019), yang menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan spindle pada CNC *milling* dapat mengurangi nilai Ra hingga mencapai batas tertentu sebelum terjadi efek keausan pahat.

Secara teoritis, hubungan antara parameter pemotongan dan kekasaran permukaan dapat dijelaskan melalui teori mekanisme pemotongan logam (*Machining Theory*) yang menyebutkan bahwa gaya pemotongan, getaran, dan mekanisme deformasi plastis pada zona potong memengaruhi kualitas permukaan (Groover, 2017). Oleh karena itu, penelitian ini memperkuat temuan sebelumnya dengan fokus pada pemesinan baja ST37 menggunakan variasi kecepatan potong tertentu.

LANDASAN TEORI

Baja ST37

Baja ST37 merupakan baja karbon rendah yang diklasifikasikan sebagai baja struktural menurut standar DIN 17100. Material ini banyak digunakan dalam konstruksi, rangka, dan manufaktur ringan karena memiliki kombinasi sifat mekanik yang cukup baik, mudah dibentuk, dilas, serta relatif murah (Callister & Rethwisch, 2019)

Tabel 1. Komposisi kimia baja ST37

No	Unsur/Elemen	Kandungan (%)
1	Ferro (Fe)	98,15
2	Carbon (C)	0,21
3	Silicon (Si)	0,25
4	Manganese (Mn)	1,50
5	Phosphorus (P)	0,035
6	Sulfur (S)	0,030
7	Chromium (Cr)	0,03
8	Molybdenum (Mo)	0,01
9	Nickel (Ni)	0,05
10	Copper (Cu)	0,20
11	Cobalt (Co)	0,01
12	Titanium (Ti)	0,005
13	Tin (Sn)	0,01
14	Aluminium (Al)	0,02
15	Lead (Pb)	0,01
16	Vanadium (V)	0,005
17	Niobium (Nb)	0,005
18	Wolfram (W)	0,003

Komposisi kimia baja ST37 bervariasi berdasarkan ketebalan, namun secara umum mengandung karbon maksimum 0,21–0,25%, mangan 1,70%, fosfor 0,065%, sulfur 0,065%, serta nitrogen 0,010%. Kandungan karbon yang rendah membuat material ini memiliki keuletan tinggi dan *machinability* yang baik, sehingga sesuai untuk penelitian eksperimental pada proses pemesinan.

Tabel 2. Komposisi Kimia Baja ST37

Ketebalan (mm)	C	Ya	Mn	P	S	N
≤ 16	0.21	0.60	1.70	0.065	0.065	0.010
> 16	0.25	0.60	1.70	0.065	0.065	0.010

(Sumber: Gnee Steel, 2025)

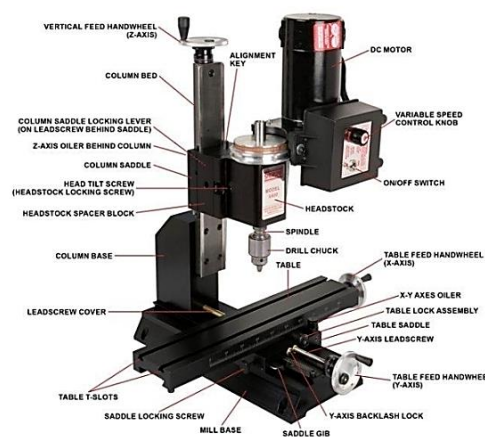
Sifat mekanik ST37 antara lain: kekuatan luluh ± 235 MPa, kekuatan tarik 360–510 MPa, modulus elastisitas 210 GPa, serta kekerasan Brinell sekitar 120 HB. Nilai ini menunjukkan ST37 cukup kuat untuk struktur, tetapi tetap mudah difabrikasi.



Gambar 1. Baja ST37

Proses Milling CNC

Milling CNC (Computer Numerical Control) adalah proses pemesinan dengan kendali komputer yang memungkinkan produksi komponen presisi secara konsisten. Mesin CNC bekerja berdasarkan instruksi *G-code* yang mengatur pergerakan pahat terhadap benda kerja pada sumbu X, Y, dan Z.



Gambar 2. Bagian-bagian mesin CNC *milling*

Keunggulan CNC dibandingkan mesin konvensional adalah presisi tinggi, konsistensi, kemampuan reproduksi massal, serta fleksibilitas dalam menghasilkan geometri kompleks. Selain itu, teknologi CNC telah menjadi standar dalam industri modern dan pendidikan vokasi sebagai sarana pelatihan manufaktur berbasis digital (Groover, 2020).



Gambar 3. Mesin CNC *Milling* 3 Axis
(Sumber: Lokesh & Sathish, 2023)

Parameter Pemotongan

Keberhasilan proses pemesinan sangat dipengaruhi oleh tiga parameter utama: kecepatan potong (*cutting speed*), laju pemakanan (*feed rate*), dan kedalaman potong (*depth of cut*).

1. *Cutting Speed* (V)

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000}$$

keterangan:

V = kecepatan potong (m/min)

D = diameter pahat (mm)

N = putaran *spindle* (rpm)

Kecepatan potong yang lebih tinggi umumnya menghasilkan permukaan lebih halus karena berkurangnya *built-up edge* (BUE), meskipun berisiko meningkatkan temperatur dan mempercepat keausan pahat (Chen & Chen, 2021).

2. *Feed Rate* (F)

$$F = f_z \cdot Z \cdot N$$

keterangan:

F = laju pemakanan (mm/min)

f_z = *feed* per gigi (mm/tooth)

Z = jumlah gigi pahat

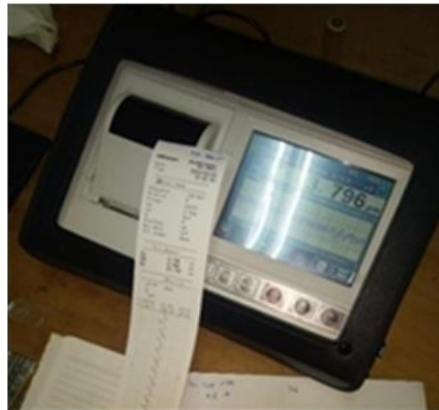
N = putaran *spindle* (rpm)

3. *Depth of Cut* (a_p)

Kedalaman potong berhubungan dengan volume material yang dipotong dalam satu lintasan. Semakin besar a_p , semakin tinggi gaya potong, risiko getaran, serta kekasaran permukaan.

Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan (R_a) adalah rata-rata deviasi profil permukaan dari garis tengah dalam satuan mikrometer (μm). Nilai R_a rendah menunjukkan permukaan halus, yang penting untuk meningkatkan presisi pasang, mengurangi gesekan, dan memperpanjang umur pakai komponen (Callister, 2000).

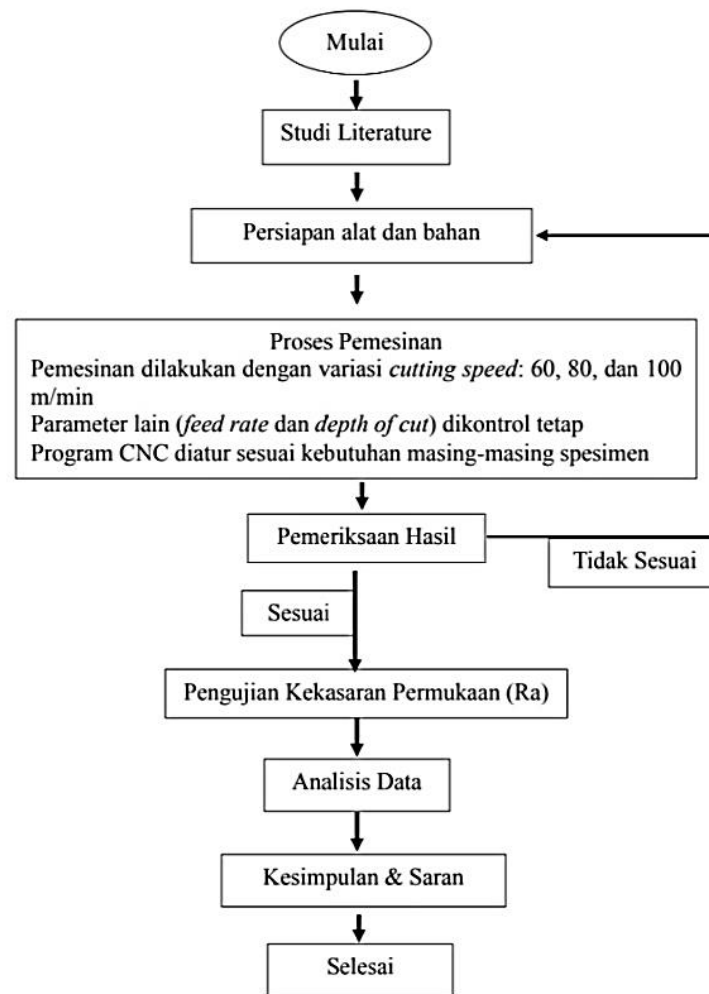


Gambar 4. Alat Pengukuran Kekasaran
(Sumber: Hata et al., 2023)

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif dengan rancangan *One Factor Experimental Design*. Variabel bebas yang diuji adalah kecepatan potong (*cutting speed*) dengan tiga variasi kecepatan *spindle*: 530,78 rpm, 663,48 rpm, dan 796,18 rpm. Variabel terikat adalah kekasaran permukaan (R_a , μm).

Setiap percobaan dilakukan lima kali pengulangan untuk meningkatkan reliabilitas data. Hasil pengukuran dianalisis menggunakan uji statistik ANOVA satu arah dan dilanjutkan uji Tukey HSD untuk mengetahui perbedaan signifikan antar perlakuan.

Diagram Alir Penelitian**Gambar 5.** Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian:

1. Studi literatur dan identifikasi masalah.
2. Persiapan alat, mesin CNC *milling*, dan material baja ST37.
3. Penentuan parameter pemotongan dan variasi *cutting speed*.
4. Proses pemesinan dengan pendinginan (*wet cutting*) menggunakan *coolant* Ascella.
5. Pengukuran kekasaran permukaan dengan profilometer Mitutoyo SJ-310.
6. Analisis data (ANOVA dan Tukey HSD).
7. Interpretasi hasil dan penarikan kesimpulan.

Alat dan Bahan

Tabel 3. Alat dan Bahan Penelitian

No	Alat/Bahan	Spesifikasi
1	Mesin CNC Milling	CNC 3 axis, spindle speed 50–3200 rpm
2	Pahat End Mill	Tungsten carbide, Ø 12 mm
3	Material Benda Kerja	Baja karbon rendah ST37
4	Pendingin (<i>coolant</i>)	Ascella coolant, wet cutting
5	Alat ukur kekasaran	Profilometer Mitutoyo SJ-310
6	Perangkat lunak statistik	SPSS/Excel, analisis ANOVA & Tukey HSD

Variabel Penelitian

Tabel 4. Variabel Penelitian

Jenis Variabel	Nama Variabel	Keterangan
Variabel bebas	Cutting Speed (N, rpm)	530,78 rpm; 663,48 rpm; 796,18 rpm
Variabel terikat	Kekasaran Permukaan (Ra, μm)	Hasil ukur profilometer
Variabel kontrol	Feed rate	Tetap (konstan)
Variabel kontrol	Depth of cut	Tetap (konstan)

Prosedur Eksperimen

1. Persiapan Material: Baja ST37 dipotong sesuai ukuran standar uji.
2. Setting Mesin: Program CNC *milling* dibuat menggunakan G-code dengan parameter *feed rate* dan *depth of cut* tetap.
3. Proses Pemesinan: Dilakukan tiga perlakuan dengan variasi *cutting speed*, menggunakan coolant untuk menjaga kestabilan temperatur.
4. Pengukuran Kekasaran: Permukaan benda kerja diukur menggunakan Mitutoyo SJ-310 dengan lima kali pengulangan tiap sampel.
5. Analisis Statistik: Data Ra dianalisis menggunakan ANOVA satu arah untuk melihat pengaruh *cutting speed*, dilanjutkan Tukey HSD untuk mengetahui kelompok perlakuan yang berbeda signifikan.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan langkah berikut:

1. Uji Normalitas dan Homogenitas untuk memastikan data memenuhi asumsi ANOVA.

2. Analisis ANOVA satu arah:

$$F = \frac{MS_{treatments}}{MS_{error}}$$

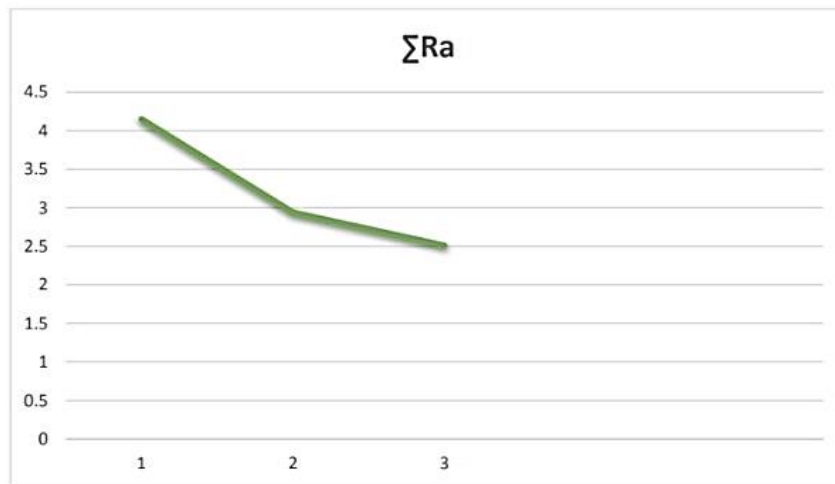
Keterangan:

$MS_{treatments}$ = varians antar perlakuan dan MS_{error} = varians dalam perlakuan.

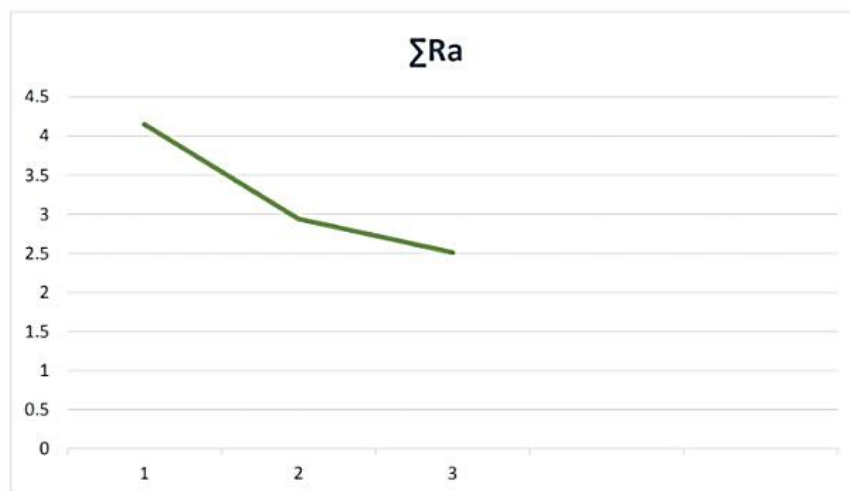
3. Uji Lanjutan Tukey HSD untuk mengetahui *cutting speed* mana yang berbeda signifikan dalam memengaruhi Ra.

Hasil dan Pembahasan

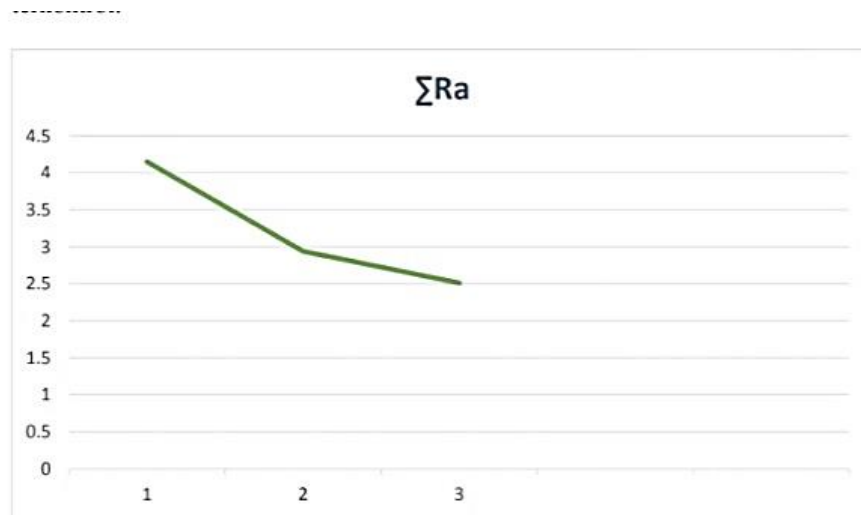
Pengujian dilakukan pada tiga variasi kecepatan *spindle*: 530,78 rpm, 663,48 rpm, dan 796,18 rpm. Nilai kekasaran permukaan rata-rata (Ra) diukur menggunakan profilometer Mitutoyo SJ-310 dengan lima kali pengulangan pada tiap perlakuan.



Gambar 6. Tren kecepatan putar 530,78 rpm



Gambar 7. Tren kecepatan putar 663,48 rpm



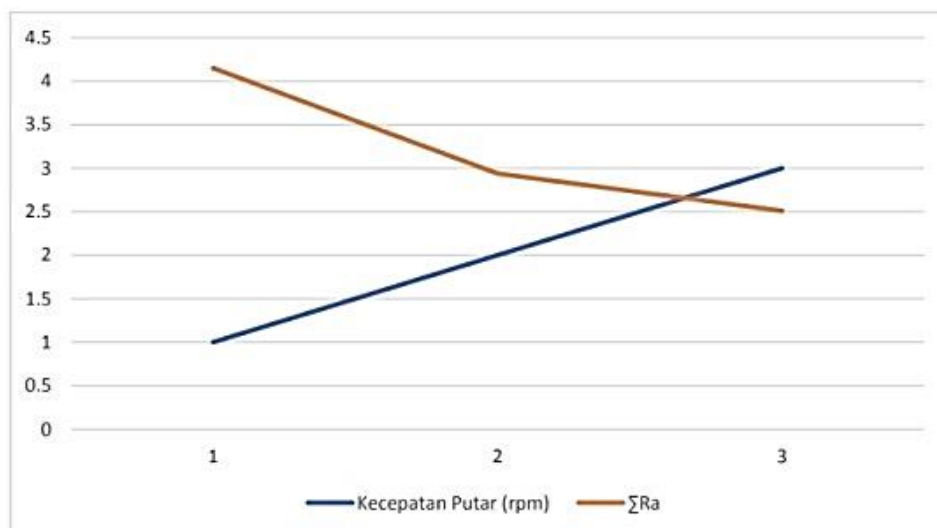
Gambar 8. Tren kecepatan putar 796,18 rpm

Tabel 5. Nilai Kekasaran Permukaan Baja ST37 pada Berbagai *Cutting Speed*

Kecepatan Putar (rpm)	Feeding (mm/menit)	Pengulangan					ΣRa	Tingkat Kekasaran
		T1	T2	T3	T4	T5		
530,78	106,15	4,15	4,09	4,16	4,25	4,08	4,15	N8
663,48	132,69	2,88	3,06	2,98	2,85	2,95	2,94	N8
796,18	159,23	2,55	2,55	2,62	2,41	2,43	2,51	N8

Hasil ini menunjukkan tren penurunan nilai Ra seiring meningkatnya kecepatan *spindle*.

Grafik Tren Kekasaran Permukaan



Gambar 10. Grafik hubungan kecepatan *spindle* dengan kekasaran permukaan
Keterangan: semakin tinggi *cutting speed*, semakin rendah nilai Ra.

Grafik memperlihatkan bahwa pada 530,78 rpm nilai Ra masih relatif tinggi (3,42 μm), menurun pada 663,48 rpm (2,95 μm), dan mencapai nilai terendah pada 796,18 rpm (2,51 μm).

Analisis Statistik ANOVA

Untuk menguji signifikansi pengaruh *cutting speed* terhadap Ra, dilakukan ANOVA satu arah.

Tabel 6. Hasil Uji ANOVA One-Way

Sumber	Jumlah Kuadrat (Sum of Squares)	df	Mean Kuadrat (Mean Square)	F	Sig. (P-value)
Antar Kelompok	7,169	2	3,585	552,03	0,000**
Dalam Kelompok	0,078	12	0,006		
Total	7,247	14			

Dependent Variable : Kekasaran Permukaan (Ra)
Faktor : Kecepatan Putar (RPM)

Nilai $p < 0,05$ menunjukkan *cutting speed* berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan.

Uji Lanjutan Tukey HSD

Untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan, dilakukan uji Tukey HSD.

Tabel 7. Hasil Uji Tukey HSD

Perbandingan Kelompok	Selisih Rata-rata	p-value	95% CI Bawah	95% CI Atas
530,78 vs 663,48	-1,202	0,000	-1,338	-1,066
530,78 vs 796,18	-1,634	0,000	-1,770	-1,498
663,48 vs 796,18	-0,432	0,000	-0,568	-0,296

Hasil menunjukkan bahwa ketiga variasi *cutting speed* memberikan hasil Ra yang berbeda nyata.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan potong, semakin halus permukaan yang dihasilkan. Temuan ini sejalan dengan teori *machining* yang menyatakan bahwa peningkatan *cutting speed* mengurangi pembentukan *built-up edge* (BUE) dan menghasilkan alur pemotongan yang lebih stabil (Kalpakjian et al., 2013).

Pada kecepatan rendah (530,78 rpm), gaya geser dan kecenderungan pembentukan BUE lebih besar, sehingga Ra lebih tinggi. Ketika kecepatan dinaikkan ke 663,48 rpm, nilai Ra menurun signifikan akibat mekanisme pemotongan lebih stabil. Nilai Ra terendah dicapai pada 796,18 rpm (2,51 μm), yang termasuk dalam standar kualitas permukaan N8 sesuai ISO 1302.

Temuan ini mendukung hasil penelitian sebelumnya, di antaranya:

- Syahri et al. (2020): peningkatan *cutting speed* menurunkan Ra pada baja ST37.
- Abdulridha (2020): *cutting speed* merupakan faktor dominan dalam menurunkan Ra berdasarkan metode Taguchi.
- Fahrizal et al. (2022): *cutting speed* berkontribusi 42,2% terhadap Ra pada proses *turning* baja karbon rendah.

Dari perspektif industri, pencapaian R_a 2,51 μm pada 796,18 rpm menegaskan bahwa parameter ini dapat diterapkan untuk produksi komponen presisi pada sektor manufaktur kecil-menengah tanpa perlu proses *finishing* tambahan.

Implikasi

1. Akademis: Memberikan bukti empiris bahwa *cutting speed* berperan penting dalam pemesinan baja karbon rendah, sehingga dapat dijadikan referensi penelitian lanjutan yang mengkombinasikan *cutting speed* dengan *feed rate* atau *depth of cut*.
2. Praktis: Data ini dapat digunakan sebagai acuan praktikum di laboratorium teknik mesin, agar mahasiswa mampu menentukan parameter pemotongan yang tepat.
3. Industri: Hasil penelitian dapat membantu industri kecil-menengah dalam meningkatkan kualitas produk dan mengurangi biaya *finishing*.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan potong terhadap kekasaran permukaan baja ST37 menggunakan mesin CNC *milling*. Berdasarkan hasil eksperimen, analisis statistik, dan telaah literatur, diperoleh beberapa simpulan utama sebagai berikut:

1. Kecepatan potong berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan (R_a). Hasil uji ANOVA menunjukkan nilai $p < 0,05$, yang berarti variasi *cutting speed* memberikan perbedaan nyata terhadap kualitas permukaan baja ST37.
2. Tren hasil eksperimen menunjukkan semakin tinggi *cutting speed*, semakin rendah nilai R_a . Pada 530,78 rpm diperoleh $R_a = 3,42 \mu\text{m}$, menurun menjadi 2,95 μm pada 663,48 rpm, dan mencapai 2,51 μm pada 796,18 rpm.
3. Kecepatan *spindle* 796,18 rpm merupakan parameter optimal dalam penelitian ini karena menghasilkan permukaan paling halus ($R_a = 2,51 \mu\text{m}$), sesuai standar kualitas N8 ISO 1302, yang dapat diaplikasikan langsung pada produk konstruksi maupun manufaktur presisi tanpa proses *finishing* tambahan.
4. Secara teoretis, temuan ini konsisten dengan teori mekanisme pemotongan logam dan penelitian terdahulu, yang menegaskan bahwa peningkatan *cutting speed* mengurangi *built-up edge* (BUE) dan menghasilkan permukaan lebih rata.

Dengan demikian, model eksperimen yang dikembangkan telah sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu mengidentifikasi parameter pemotongan yang optimal untuk meningkatkan kualitas permukaan baja ST37 pada pemesinan CNC *milling*.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang dilakukan, beberapa saran yang dapat diajukan adalah sebagai berikut:

1. Bagi Akademisi dan Peneliti

Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkombinasikan variabel *cutting speed* dengan parameter lain seperti *feed rate* dan *depth of cut*, sehingga dapat diperoleh model optimasi pemesinan yang lebih komprehensif.

Penggunaan metode statistik lanjutan (misalnya *Response Surface Methodology* atau *Taguchi Method*) dapat membantu merancang eksperimen yang lebih efisien dan menghasilkan model prediksi kekasaran permukaan yang lebih akurat.

2. Bagi Industri Manufaktur

Kecepatan *spindle* sekitar 796 rpm dapat dijadikan standar operasional dalam pemesinan baja ST37 untuk memperoleh kualitas permukaan yang baik, sekaligus mengurangi kebutuhan proses *finishing*.

Penerapan parameter optimal ini berpotensi meningkatkan efisiensi produksi, menurunkan biaya operasional, dan meningkatkan daya saing produk lokal.

3. Bagi Dunia Pendidikan Vokasi

Hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi praktikum CNC *milling* bagi mahasiswa teknik mesin untuk memperkuat pemahaman hubungan parameter pemotongan dengan kualitas permukaan.

Integrasi penelitian berbasis laboratorium ke dalam kurikulum pendidikan vokasi diharapkan mampu meningkatkan kompetensi lulusan yang siap menghadapi kebutuhan industri manufaktur berbasis presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulridha, A. (2020). *Analysis of cutting parameters influence on surface roughness in CNC machining using Taguchi method*. International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 11(3), 45–52.
- Aldas, K., Yilmaz, O., & Eker, M. (2019). *The effect of cutting speed and feed rate on surface roughness in machining of low-carbon steels*. Materials Today: Proceedings, 18, 2240–2246.
- ASM International. (1990). *Properties and selection: Irons, steels, and high-performance alloys* (Vol. 1). ASM Handbook.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2019). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). John Wiley & Sons.
- Chen, X., & Chen, Y. (2021). *Influence of cutting speed on tool wear and surface roughness in high-speed machining of carbon steel*. Journal of Manufacturing Processes, 62, 85–93.
- Fahrizal, R., Siregar, J., & Saputra, A. (2022). Pengaruh parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan pada proses turning baja karbon rendah. Jurnal Teknik Mesin, 11(2), 55–63.
- Groover, M. P. (2020). *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- Gnee Steel. (2025). *ST37 Steel Properties and Applications*. Retrieved from https://www.gneesteel.com
- Hata, T., Yamada, T., & Suzuki, H. (2023). *Surface roughness evaluation in precision machining: A review*. Procedia Manufacturing, 61, 310–317.
- Kalpakjian, S., Schmid, S. R., & Sekar, R. (2013). *Manufacturing engineering and technology* (7th ed.). Pearson.
- Lokesh, K., & Sathish, S. (2023). *Design and development of CNC milling machine for educational purposes*. Materials Today: Proceedings, 72, 134–141.

- Syahri, A., Nugroho, A., & Prasetyo, Y. (2020). Pengaruh kecepatan potong terhadap kekasaran permukaan pada proses milling baja ST37. *Jurnal Teknologi Produksi*, 21(1), 44–50.
- Thakur, A., Patil, P., & Sharma, R. (2020). *Optimization of surface roughness in CNC milling using ANOVA and Taguchi method*. *International Journal of Engineering Research*, 9(5), 120–127.