

STUDI EKSPERIMENTAL KELURUSAN BAJA AISI 4340 PRODUK PEMESINAN DARI PRECISION LATHE MACHINE 410 × 1000 MM

Nurbaiti¹⁾, Hendri Van Hoten²⁾, Helmizar³⁾

email: nurbaiti@unib.ac.id, hvhoten@unib.ac.id, helmizar@unib.ac.id

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Jl. WR.
Supratman Kandang Limun, Kota Bengkulu, Indonesia

Ringkasan

Baja AISI 4340 cukup masif digunakan di bidang industri, terutama pada aplikasi yang memerlukan kekuatan tarik tinggi seperti pada pembuatan perlengkapan pesawat, otomotif, penempaan, pembentukan, spare part mesin, dan cetakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai optimum parameter pemesinan dan mengidentifikasi faktor yang paling berpengaruh terhadap tingkat kelurusan hasil pemesinan baja AISI 4340. Proses peembutannya dilakukan memakai mesin bubut Precision Lathe Machine 410 x 1000 mm. Penelitian ini menggunakan metode Taguchi dan Analysis of Variance (ANOVA) untuk mendapatkan optimal parameter proses. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi parameter yang optimal diperoleh pada putaran spindel 900 rpm; gerak makan 0,15 mm/putaran; dan kedalaman potong sebesar 0,5 mm. Faktor yang memberikan pengaruh paling besar terhadap kelurusan adalah putaran spindel sebesar 36,79%, diikuti oleh kedalaman potong sebesar 34,21%. Sementara itu, gerak makan memberikan pengaruh paling kecil sebesar 0,14%. Jadi, kesimpulan penelitian ini adalah putaran spindel dan kedalaman potong merupakan parameter yang signifikan dalam memengaruhi kualitas kelurusan pada proses pemesinan baja AISI 4340.

Kata Kunci : Baja AISI 4340, kelurusan, mesin bubut, Taguchi, ANOVA, parameter pemesinan

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri dan manufaktur dewasa ini menunjukkan kemajuan yang sangat pesat. Persaingan antar perusahaan menuntut peningkatan kualitas produk secara berkelanjutan untuk memenuhi tuntutan pasar global. Salah satu faktor penentu keberhasilan dalam produksi manufaktur adalah kemampuan untuk mengendalikan kualitas produk, khususnya pada proses pemotongan logam yang merupakan bagian penting dalam pembuatan komponen produk (1). Efisiensi dan efektivitas proses pemesinan dapat ditingkatkan melalui optimasi parameter proses, seperti putaran spindel (n), gerak makan (f), dan kedalaman potong (a) (2,3).

Baja AISI 4340 adalah Baja yang cukup banyak digunakan di bidang industri, disebabkan kekuatan tarik tinggi, ketangguhan yang baik, serta ketahanan terhadap keausan. Material ini tergolong dalam baja paduan rendah jenis nikel-kromium-molibdenum dan umum digunakan pada komponen-komponen penting seperti poros, roda gigi, kopling, pin, cetakan, serta perlengkapan pesawat dan otomotif. Oleh karena itu, kontrol kualitas permukaan hasil pemesinan baja AISI 4340 menjadi aspek yang penting untuk menjamin fungsionalitas dan umur pakai komponen (4).

Salah satu indikator penting dalam kualitas geometrik hasil pemesinan adalah kelurusan permukaan (5). Kelurusan yang rendah dapat menyebabkan produk tidak sesuai spesifikasi desain, menurunkan performa saat perakitan, bahkan menyebabkan kegagalan fungsi pada aplikasi tertentu. Hal inilah yang menyebabkan pentingnya analisis pengaruh parameter proses terhadap kelurusan benda kerja, serta metode untuk mengoptimalkannya. Metode pengukuran kelurusan yang umum menggunakan Dial Indikator, tapi menggunakan laser merupakan metode yang paling teliti (6,7).

2. KAJIAN PUSTAKA

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas pentingnya analisis parameter pemesinan dalam meningkatkan kualitas geometrik dan efisiensi produksi. Indrawan, dkk., (2016) melakukan analisis terhadap presisi geometri mesin bubut Maximat Super 11, dengan fokus pada parameter seperti run-out spindle nose dan kelurusan tailstock guideways. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa mesin telah melebihi batas toleransi penyimpangan geometri berdasarkan standar Schlesinger (8).

Penelitian oleh Purwaningsih et al. (2012) menggunakan metode Taguchi untuk menentukan parameter pemesinan terbaik dalam meminimalkan penyimpangan kesilindrisan pada baut segienam. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa gerak makan, kedalaman potong, serta interaksinya memberikan pengaruh signifikan terhadap kualitas geometri. Penggunaan kombinasi parameter optimum mampu mengurangi penyimpangan hingga 43,3% (9).

Penelitian lainnya oleh Hoten, dkk., 2017 memfokuskan pada peningkatan produktivitas pemesinan pada mesin bubut Celtic dengan material baja St. 37. Melalui metode Taguchi dan ANOVA ditemukan bahwa putaran spindle merupakan parameter yang paling dominan terhadap hasil pemotongan, dengan kontribusi sebesar 52,83% (10).

Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan terhadap parameter pemesinan, kajian khusus mengenai pengaruh parameter proses terhadap kelurusan permukaan hasil pemesinan baja AISI 4340 masih relatif terbatas. Kebanyakan studi lebih memfokuskan pada parameter kekasaran permukaan, kesilindrisan, atau tingkat keausan pahat. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian yang secara spesifik mengkaji hubungan antara parameter pemesinan dengan tingkat kelurusan pada material AISI 4340.

Berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan, terdapat gap dalam literatur terkait pengaruh spesifik parameter pemesinan terhadap kelurusan permukaan baja AISI 4340, khususnya menggunakan mesin bubut Precision Lathe Machine 410 x 1000 mm. Penelitian-penelitian sebelumnya juga belum secara komprehensif menggabungkan metode Taguchi dan ANOVA untuk mengidentifikasi parameter paling berpengaruh terhadap kelurusan pada jenis material ini.

Penelitian ini mengusulkan pendekatan kombinasi metode Taguchi sebagai teknik optimasi parameter proses, serta Analysis of Varians (ANOVA) untuk mengevaluasi kontribusi masing-masing parameter terhadap hasil kelurusan (11–13). Metode ini memungkinkan perancangan eksperimen yang efisien dengan jumlah eksperimen yang minimal, sekaligus memberikan pemahaman yang kuantitatif terhadap pengaruh parameter.

3. METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan pada pengambilan data yaitu Precision Lathe Machine 410 x 1000 mm, selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 1. Spesifikasi dari mesin bubut presisi ini ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 1. Precision Lathe Machine 410 x 1000 mm

Tabel 1. Spesifikasi Mesin Bubut

No	Nama Spesifikasi	Keterangan
1	Dimensi Mesin	1940 X 850 X 1320 mm
2	Motor Utama (kW / V / Ph)	3,3 / 380 / 3
3	Motor untuk coolant (kW / V / Ph)	0,1 / 380 / 3
4	Spindle Speed (rpm)	45 ~ 1800
5	Gerak Makan (mm / rev)	0.05 ~ 1.7

Pada penelitian kelurusan ini menggunakan pahat Karbida Insert jenis WIDIA. Dimana *Side Rake Angle*, *Side Cutting Edge Angle*, dan *Front Cutting Edge Angle* dari pahat tersebut adalah 10°, 90°, dan 6°, berturut-turut.

Alat lainnya pada penelitian ini yaitu dial indikator yang digunakan untuk mengukur penyimpangan yang sangat kecil dari bidang datar, silinder dan kesejajaran. Blok V yang digunakan untuk sebagai tempat dudukan Benda Kerja. Meja Rata yang digunakan untuk pemeriksaan kelurusan Benda Kerja.

Komposisi kimia dari Benda Kerja (baja AISI 4340) adalah kandungan unsur besi (Fe) 95,195-96,33%; karbon (C) sebesar 0,370-0,430%, sisanya unsur Ni, Cr, Mn, Mo, Si, S, dan P (14,15). Sifat mekanik dari material tersebut diatas adalah tegangan tarik sebesar 745 MPa dan *yield strength* sebesar 470 MPa (16,17).

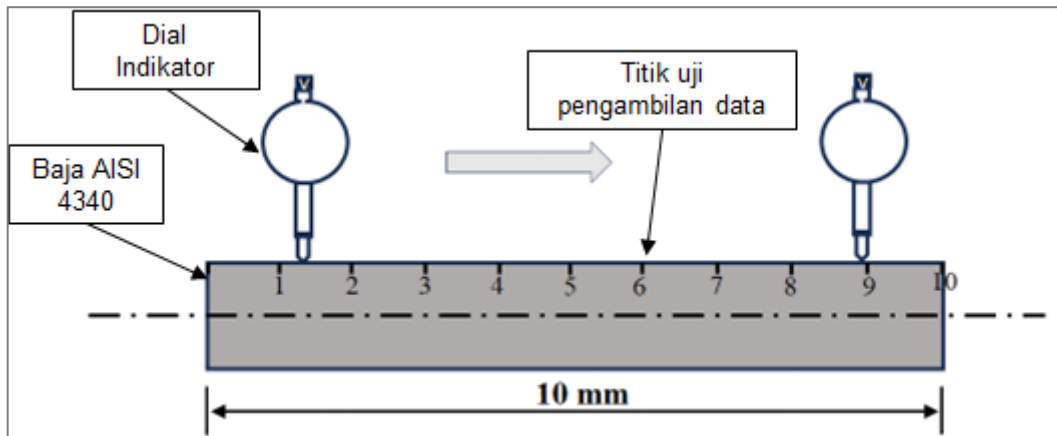
Sebelum dilakukan pengambilan data kelurusan, Langkah awal yang dilakukan adalah perancangan DOE menggunakan metode Taguchi desain (18,19). Matrik orthogonal array L9(3⁴) dengan cara menetapkan faktor dan level pengujian, selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 2. Proses pembubutan Benda Kerja dilakukan sesuai dengan urutan pada Tabel 3 sesuai rancangan DOE metode Taguchi. Setelah selesai melakukan proses pembubutan, selanjutnya masuk ke proses pengukuran kelurusan pada Benda Kerja. Pengambilan data kelurusan dilakukan pada Benda Kerja sepanjang 10 cm, dimana jarak antar titik pengukuran sebesar 1 cm, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Pengukuran kelurusan dilakukan menggunakan Dial Indikator pada 10 titik pengukuran. Nilai kelurusan ditentukan dengan menghitung interval nilai maksimum dan minimum dari 10 titik pengukuran tersebut, mekanisme proses pengukurannya ditunjukkan oleh Gambar 2 (20).

Tabel 2. Faktor dan level percobaan

No	Faktor	Level		
		1	2	3
1.	Putaran Spindel,X (rpm)	108	510	900
2	Gerak makan,Y (mm/putaran)	0,2	0,25	0,35
3	Kedalaman Potong,Z (mm)	0,5	1	1,5

Tabel 3. Matrik orthogonal array L9(3⁴)

No	Putaran Spindel (rpm)	Gerak Makan (mm/putaran)	Kedalaman Potong (mm)
1	108	0,2	0,5
2	108	0,25	1
3	108	0,35	1,5
4	510	0,2	1
5	510	0,25	1,5
6	510	0,35	0,5
7	900	0,2	1,5
8	900	0,25	0,5
9	900	0,35	1



Gambar 2. Skema pengujian kelurusan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

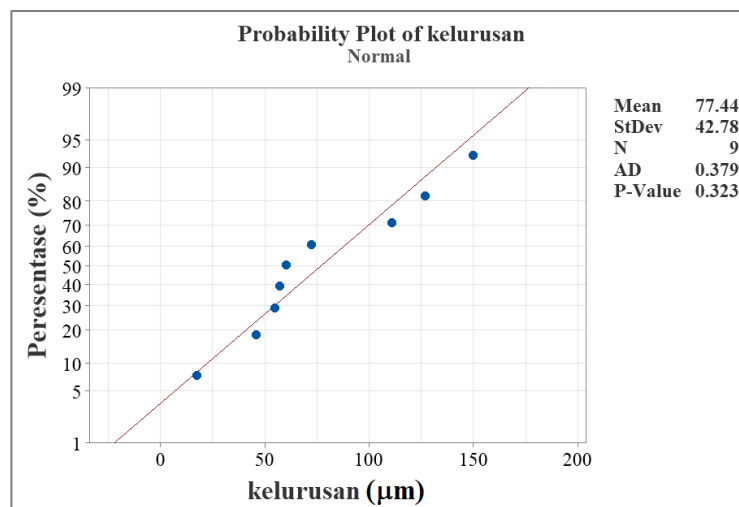
Hasil analisa nilai kelurusan dari Benda Kerja hasil pembubutan dapat dilihat pada Tabel 4. Data dari Tabel 4 akan dilakukan pengolahan menggunakan metode Taguchi dan ANOVA (Analysis of Variant) untuk mendapatkan parameter yang paling berpengaruh. Selanjutnya ditentukan nilai parameter optimal untuk mendapatkan hasil kelurusan yang memberikan nilai paling kecil atau dengan kata lain memiliki nilai toleransi kelurusan yang paling kecil.

Tabel 4. Hasil pengujian kelurusan dari masing-masing Benda Kerja setelah pembubutan

No	Putaran Spindel (rpm)	Gerak Makan (mm/putaran)	Kedalaman Potong (mm)	Kelurusan (μm)
1	108	0,2	0,5	60,5
2	108	0,25	1	127
3	108	0,35	1,5	111
4	510	0,2	1	150
5	510	0,25	1,5	46
6	510	0,35	0,5	72,5
7	900	0,2	1,5	17,5
8	900	0,25	0,5	57,5
9	900	0,35	1	55

Berdasarkan hasil yang didapatkan pada Tabel 4, maka dilakukan uji normalitas untuk melihat apakah data kelurusan tersebut terdistribusi secara normal. Hasil uji normalitas diperlihatkan pada Gambar 3, dimana didapatkan P-value sebesar 0,323 yang berarti lebih besar dari nilai α yaitu 0,05. Sehingga dapat dikatakan bahwa data kelurusan terdistribusi normal. Selanjutnya akan dilakukan analisis *main effect* pengujian menggunakan analisis Taguchi dan ANOVA.

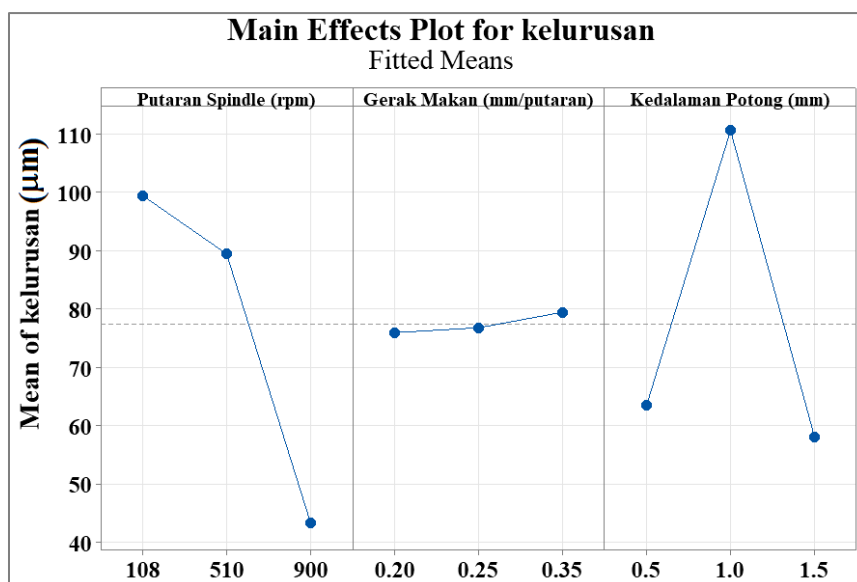
Hasil dari analisis metode Taguchi menggunakan software minitab 21 menunjukkan bahwa parameter proses yang memiliki pengaruh besar terhadap nilai kelurusan adalah putaran spindel, kemudian diikuti oleh kedalaman potong dan gerak makan, selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 4. Pada Tabel 5 ditunjukkan bahwa perbedaan nilai kelurusan pada setiap level pengujian. Dimana putaran spindel memberikan perbedaan yang signifikan antara nilai kelurusan maksimum dan minimumnya yaitu sebesar 56,167 μm . Fenomena ini dijelaskan lagi pada Gambar 4, dimana grafik antara kelurusan dengan putaran spindel yang lebih miring jika dibandingkan dengan parameter lainnya. Dari Gambar 4 juga didapatkan level dari parameter proses yang memberikan nilai kelurusan yang optimal yaitu putaran spindel 900 rpm, gerak makan 0,2 mm/putaran, dan kedalaman potong 1,5 mm.



Gambar 3. Uji Normalitas hasil pengujian

Tabel 5. Response table for means

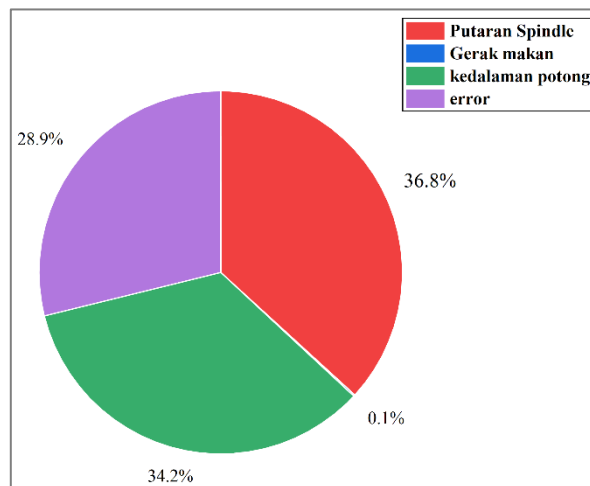
Level	Putaran Spindle	Gerak Makan	Kedalaman Potong
1	99,50	76,00	63,50
2	89,50	76,83	110,67
3	43,33	79,50	58,17
Delta	56,17	3,50	52,50
Rank	1	3	2



Gambar 4. Grafik main effect

Hasil perhitungan metode Taguchi selanjutnya dilakukan perhitungan ANOVA. Dari analisis ANOVA didapatkan nilai *R-Square* sebesar 71%. Hal ini menunjukkan hubungan yang kuat antara faktor parameter proses terhadap response kelurusan atau dengan kata lain perubahan variabel faktor akan mempengaruhi nilai kelurusan.

Dari perhitungan ini didapatkan nilai *Percent of Contribution* (P), seperti terlihat pada Gambar 5. Dari Gambar 5 tersebut didapatkan bahwa parameter yang memiliki pengaruh paling besar terdapat pada faktor Putaran spindel dengan nilai 36,79%. Dan faktor Kedalaman potong dengan nilai 34,21 %. Sedangkan nilai parameter terkecil terdapat pada faktor Kecepatan potong dengan nilai 0,14%. Dengan kata lain, pada penelitian ini kedalaman potong tidak terlalu berpengaruh terhadap hasil kelurusan, sehingga pengaruhnya dapat diabaikan. Pada perhitungan ANOVA juga terdapat error. Error yang didapat pada perhitungan ANOVA yaitu Sebesar 28,86%. Error dapat diminimalisir dengan menambahkan faktor dan level pada pengujian berikutnya.



Gambar 5. Grafik persentase kontribusi parameter proses terhadap nilai kelurusan

5. KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN

Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini yaitu nilai parameter optimum terdapat pada putaran spindel sebesar 900 rpm, kecepatan makan sebesar 0,2 mm/rev, dan kedalaman potong sebesar 1,5 mm. Parameter putaran spindel memiliki pengaruh paling besar pada kelurusan dengan nilai sebesar 36,79%, diikuti kedalaman potong 34,21 %. Sedangkan nilai parameter terkecil terdapat pada gerak makan dengan nilai 0,14%.

Saran

Saran untuk penelitian berikutnya adalah silahkan ditambahkan parameter faktor dan level pada pengujian berikutnya untuk meminimalisir error yang terjadi pada penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Dwiguna N, Syarief A. Analisis Proses Pengecoran Dan Permesinan Bushing Roda Kereta Di Galangan Kapal. Sci J Mech Eng Kinemat [Internet]. 2016 Dec 9;1(2 SE-Articles):47–60. Available from: <https://kinematika.ulm.ac.id/index.php/kinematika/article/view/21>
2. Yasa Utama F, Hartutuk Ningsih T. Optimasi Parameter Pemesinan dengan Proses Bubut pada Respon Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Material S45-C Menggunakan Metode Taguchi - Grey - Fuzzy. Rekayasa Energi Manufaktur. 2016;1(1).
3. Riady A, Tamjidillah M. Penentuan Optimasi Parameter Permesinan Terhadap Kekasaran Baja St 42 Hasil Proses Bubut Menggunakan Metode Taguchi. Sci J Mech Eng Kinemat [Internet]. 2017 Dec 12;2(2 SE-Articles):105–11. Available from: <https://kinematika.ulm.ac.id/index.php/kinematika/article/view/40>
4. Indrawan E, A Y, Aziz A, Rifelino R, Tawakal MI. Analisis Kualitas Geometri Mesin Bubut Maximat Super 11. INVOTEK J Inov Vokasional dan Teknol. 2020;20(3):71–80.
5. BUDZYN G, RZEPKA J. Study on Noises Influencing the Accuracy of CNC Machine Straightness Measurements Methods Based on Beam Position Detection. J Mach Eng [Internet]. 2020;20(3):76–84. Available from: <https://doi.org/10.36897/jme/127102>
6. Xu P, Li RJ, Zhao WK, Chang ZX, Ma SH, Fan KC. Development and verification of a high-precision laser measurement system for straightness and parallelism measurement. Metrol Meas

- Syst [Internet]. 2021;28(No 3):479–95. Available from: http://journals.pan.pl/Content/120618/art05_i.pdf
7. Furutani R, Yamaguchi K. Creation and utilization of straightness standard due to reciprocal measurement of linear stage. J Phys Conf Ser [Internet]. 2021;1777(1):12004. Available from: <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1777/1/012004>
 8. Mangngi F. Evaluasi Kondisi Mesin Bubut Harizon T300 Menurut Tindakan Perawatan. J Ilm Tek Mesin. 2018;12(2):1–12.
 9. Purwaningsih R, Utami N, Kuncara H. Penentuan Parameter Permesinan Terbaik Untuk Meminimasi Penyimpangan Geometri Kesilindrisan Baut Segi Enam J-01 dengan Metode Taguchi. J@Ti Undip. 2006;1(1):1–9.
 10. Hoten H Van, Nanda AR, Zuliantoni. Optimasi Parameter Proses Untuk Meningkatkan Produktivitas Pembubutan Dengan Menggunakan Metode Taguchi Dan Anova. J Mek [Internet]. 2017;8(1):704–8. Available from: <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/Mekanikal/article/view/9085/7202>
 11. Sulaiman S, Aldeehani A, Alhaji M, Isahak WNW. Optimization of Cutting Parameters Affecting the Surface Roughness of Al 6061 Dry Milling Machining Using Taguchi Method BT - Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions (2nd Edition). In: Ksibi M, Ghorbal A, Chakraborty S, Chaminé H, Barbieri M, Guerriero G, et al., editors. Cham: Springer International Publishing; 2021. p. 279–83.
 12. Stalin B, Athijayamani A, Nagarajan R. Machinability Analysis on Biowaste Bagasse-Fiber-Reinforced Vinyl Ester Composite Using S / N Ratio and ANOVA Method. In: Mechanical and Dynamic Properties of Biocomposites [Internet]. 2021. p. 109–20. Available from: <https://doi.org/10.1002/9783527822331.ch5>
 13. Patel NS, Parihar PL, Makwana JS. Parametric optimization to improve the machining process by using Taguchi method: A review. Mater Today Proc [Internet]. 2021;47:2709–14. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321019362>
 14. Jung YH, Kim BJ, Kim H, Kim SH, Shin S-Y, Lee SG, et al. Shot-Peening Time Effect on the Mechanical Properties of AISI 4340 Steel. Met Mater Int [Internet]. 2025;31(3):692–700. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12540-024-01774-x>
 15. Abbas AT, Anwar S, Hegab H, Benyahia F, Ali H, Elkaseer A. Comparative Evaluation of Surface Quality, Tool Wear, and Specific Cutting Energy for Wiper and Conventional Carbide Inserts in Hard Turning of AISI 4340 Alloy Steel. Vol. 13, Materials. 2020.
 16. Li C, Zhu S, Yang C, Yang M, Cheng Y, Li B, et al. Medical alloy materials in cutting and grinding: machinability performance assessment [Internet]. Vol. 138, International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Springer London; 2025. 3771–3825 p. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00170-025-15626-4>
 17. Yaqoob S, A. Ghani J, Jouini N, Sheik Muhamad S, Che Haron CH, Juri A. High-speed turning of AISI 4340 alloy steel using carbide tools in a sustainable minimum quantity lubrication environment. Ind Lubr Tribol [Internet]. 2024 Oct 29; Available from: <https://doi.org/10.1108/ILT-01-2024-0013>
 18. Özbek NA, Karadag Mİ, Özbek O. Optimization of flank wear and surface roughness during turning of AISI 304 stainless steel using the Taguchi method. 2020;62(9):957–61. Available from: <https://doi.org/10.3139/120.111571>
 19. Palaniappan SP, Muthukumar K, Sabariraj R V, Dinesh Kumar S, Sathish T. CNC turning process parameters optimization on Aluminium 6082 alloy by using Taguchi and ANOVA. Mater Today Proc [Internet]. 2020;21:1013–21. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785319335606>
 20. Ninggar YAW, Huang J-P. Sample Size Analysis for the Measurement of Straightness. In: 2021 IEEE 3rd Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE). 2021. p. 477–9.